

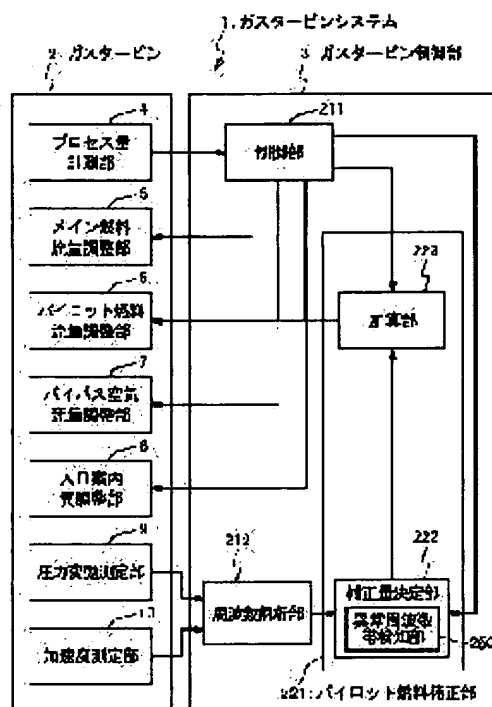
PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(43)Date of publication of application : 15.10.2003

F02C 9/00
F02C 9/52
F02C 9/54

(72)Inventor : NATSUME AKINORI
NOMURA MASUMI
TANAKA KATSUNORI
TOYAMA KOZO

SOLUTION: This gas turbine control device comprises a frequency analysis part 212 performing the frequency analysis of the vibrations of a pressure or an acceleration in the combustor 111 of the gas turbine 2 are frequency-analyzed by a local fast Fourier transform and outputting the results of the analysis for each frequency band obtained by dividing the results of the frequency analysis by the local fast Fourier transform into a plurality of frequency bands and a control part 211 for controlling at least one of a first fuel flow as the flow of the fuel fed to a combustor and a first air flow as the flow of air based on the results of the analysis for each frequency band.



[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-293794

(P2003-293794A)

(43) 公開日 平成15年10月15日 (2003. 10. 15)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	備考* (参考)
F 0 2 C	9/00	F 0 2 C	B
	9/52		
	9/54		

審査請求 未請求 請求項の数15 O L (全 37 頁)

(21) 出願番号 特願2002-104235(P2002-104235)

(22) 出願日 平成14年4月5日 (2002. 4. 5)

(71) 出願人 000006208

三菱重工業株式会社

東京都港区港南二丁目16番5号

(72) 発明者 夏目 明典

兵庫県高砂市荒井町新浜2丁目1番1号

三菱重工業株式会社高砂研究所内

(72) 発明者 野村 真澄

兵庫県高砂市荒井町新浜2丁目1番1号

三菱重工業株式会社高砂研究所内

(74) 代理人 100102864

弁理士 工藤 実

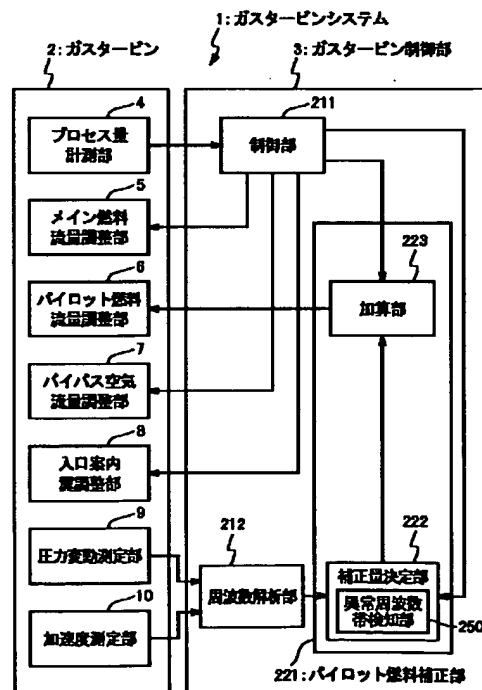
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ガスタービン制御装置、ガスタービンシステム及びガスタービン遠隔監視システム

(57) 【要約】

【課題】 ガスタービンで発生する燃焼振動を事前に抑制し、燃焼安定性を向上することができるガスタービン制御装置を提供する。

【解決手段】 ガスタービン2の燃焼器111内での圧力または加速度の振動を局所高速フーリエ変換により周波数分析し、前記局所高速フーリエ変換による周波数分析の結果を複数の周波数帯に分割した周波数帯別分析結果を出力する周波数解析部212と、前記周波数帯別分析結果に基づいて、前記燃焼器に供給する燃料の流量である第1燃料流量又は空気流量である第1空気流量の少なくとも一方を制御する制御部211と、を具備する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 ガスタービンの燃焼器内での圧力または加速度の振動を局所高速フーリエ変換により周波数分析し、前記局所高速フーリエ変換による周波数分析の結果を複数の周波数帯に分割した周波数帯別分析結果を出力する周波数解析部と、
前記周波数帯別分析結果に基づいて、前記燃焼器に供給する燃料の流量である第1燃料流量又は空気の流量である第1空気流量の少なくとも一方を制御する制御部と、を具備するガスタービン制御装置。

【請求項2】 請求項1記載のガスタービン制御装置において、
前記周波数解析部は、前記局所高速フーリエ変換による周波数分析の結果から定常ノイズを除去した結果を前記周波数帯別分析結果として出力するガスタービン制御装置。

【請求項3】 請求項2記載のガスタービン制御装置において、
前記周波数解析部は、前記局所高速フーリエ変換による周波数分析の結果に対して、不完全微分処理を行うことによって、前記定常ノイズを除去するガスタービン制御装置。

【請求項4】 請求項1から3のいずれか1項に記載のガスタービン制御装置において、
補正部を更に具備し、
前記制御部は、更に、ガスタービンのプロセス量と前記ガスタービンを制御する制御信号とを前記補正部へ出力し、
前記補正部は、前記周波数帯別分析結果において、前記振動の強度が予め設定したしきい値以上の周波数帯である異常周波数帯について、前記異常周波数帯の周波数と前記プロセス量とに基づいて算出される補正量を決定し、その補正量と前記制御信号とに基づいて、前記第1燃料流量又は前記第1空気流量の少なくとも一方を制御する、
ガスタービン制御装置。

【請求項5】 請求項4記載のガスタービン制御装置において、
複数の前記周波数帯別分析結果にそれぞれ設けられた複数の前記しきい値は、互いに異なる値に設定されているガスタービン制御装置。

【請求項6】 請求項4または5に記載のガスタービン制御装置において、
前記周波数解析部は、更に、前記圧力または加速度の振動を高速フーリエ変換により周波数分析し、前記補正部は、前記高速フーリエ変換による周波数分析の結果と、前記局所高速フーリエ変換による周波数分析の結果に基づいて、前記第1燃料流量又は前記第1空気流量の少なくとも一方を制御するガスタービン制御装置。

【請求項7】 請求項4から6のいずれか1項に記載の

ガスタービン制御装置において、
前記補正部は、更に、前記局所高速フーリエ変換による周波数分析の結果の変化率を求め、前記変化率も考慮して、前記第1燃料流量又は前記第1空気流量の少なくとも一方を制御するガスタービン制御装置。

【請求項8】 請求項4から7のいずれか1項に記載のガスタービン制御装置において、
新規ガスタービンにおける燃料の流量である第2燃料流量又は空気の流量である第2空気流量と、燃焼ガスの振動の周波数帯別の周波数分析結果である新規周波数帯別分析結果との関係を記録しているデータベースを更に具備し、
前記補正部は、前記周波数帯別分析結果と同等の値を示す前記新規周波数帯別分析結果に対応する前記第2燃料流量又は前記第2空気流量と、前記周波数帯別分析結果に対応する前記第1燃料流量又は前記第1空気流量とに基づいて、前記第1燃料流量又は前記第1空気流量の数値を較正する、ガスタービン制御装置。

【請求項9】 請求項4から7のいずれか1項に記載のガスタービン制御装置において、
前記第1燃料流量又は前記第1空気流量を試験的に変化させるための流量変化量を出力する試行点決定部を更に具備し、
前記補正部は、前記流量変化量に基づいて、前記ガスタービンを前記試験の運転条件で制御し、
前記周波数解析部は、前記試験の結果である試行周波数帯別分析結果を出力し、
前記試行点決定部は、前記試行周波数帯別分析結果と前記プロセス量とに基づいて、前記振動の強度が前記試験の前よりも減少する前記ガスタービンの運転条件を決定する、
ガスタービン制御装置。

【請求項10】 請求項1から9のいずれか1項に記載のガスタービン制御装置において、
前記第1燃料流量は、前記燃焼器のメイン燃料又はパイロット燃料の少なくとも一方の流量である、
ガスタービン制御装置。

【請求項11】 請求項1から10のいずれか1項に記載のガスタービン制御装置において、
前記第1空気流量は、前記ガスタービンのバイパス空気又は入口案内翼により調整される空気の少なくとも一方の流量である、
ガスタービン制御装置。

【請求項12】 請求項1から11のいずれか1項に記載のガスタービン制御装置と、
前記燃焼器を有する前記ガスタービンと、
を具備するガスタービンシステム。

【請求項13】 ガスタービンと、
前記ガスタービンの制御を行なうガスタービン制御装置と、

前記ガスタービン制御装置と通信回線で接続され、前記ガスタービンを遠隔監視する遠隔監視部と、を具備し、
 前記ガスタービン制御装置は、
 前記ガスタービンの燃焼器内での圧力の振動または加速度の振動を局所高速フーリエ変換により周波数分析し、
 前記局所高速フーリエ変換による前記周波数分析の結果を複数の周波数帯に分割した周波数帯別分析結果を出力する周波数解析部と、
 前記ガスタービンの運転に関わる情報である運転状況データ 10
 を有する制御部とを含み、
 前記遠隔監視部は、
 燃料流量及び空気流量と燃焼ガスの振動との関係である運転情報データを有する遠隔データベースと、
 前記ガスタービンの運転指示を出力する補正部とを含み、
 前記ガスタービン制御部は、前記運転状況データと前記周波数帯別分析結果とを前記遠隔監視部へ前記通信回線を介して出力し、
 前記遠隔監視部は、前記運転状況データと前記周波数帯別分析結果と前記運転情報データとから、前記ガスタービンの燃料流量又は空気流量の補正量を決定し、通信回線を介して出力し、
 前記ガスタービン制御部は、前記補正量に基づいて、前記燃料流量又は前記空気流量を制御する、
 ガスタービン遠隔監視システム。
 【請求項14】 ガスタービンの燃焼器の圧力の振動又は加速度の振動の少なくとも一方の測定結果を受信するステップと、
 前記測定の結果に基づいて、前記振動を複数の周波数帯 30
 に分割して局所高速フーリエ変換により周波数分析を行なうステップと、
 前記周波数分析の結果に基づいて、前記燃焼器に供給する燃料及び空気の流量の少なくとも一方を決定するステップと、
 前記決定した流量に基づいて、前記燃料及び前記空気の流量の少なくとも一方を制御するステップと、
 を具備するガスタービン制御方法。
 【請求項15】 請求項14に記載のガスタービン制御方法を実行するためのプログラム。
 【発明の詳細な説明】
 【0001】
 【発明の属する技術分野】本発明は、ガスタービンの制御を行なう装置及びそれを有するシステムに関し、特に、燃焼振動を抑制する制御を行なう制御装置及びそれを有するシステムに関する。
 【0002】
 【従来の技術】従来のガスタービンでは、発電機出力、大気温度・湿度などに基づいて、燃焼器へ送る空気流量、燃料流量を予め決定し、その値を用いて運転を行な 50

っている。しかし、圧縮機の性能劣化やフィルターの目詰まりなどの経年変化により、実際の流量は計画時や試験運転調整時とずれる可能性がある。その場合、燃焼安定性が低下したり、燃焼振動が発生する恐れがある。燃焼振動が発生すると、ガスタービンの運転に大きな支障をきたすだけでなく、機器を破損する恐れがある。そのため、燃焼振動の発生を早期に検知し回避することがガスタービンの運転上、必須である。

【0003】従来、燃焼器の内圧変動等を検出し、高速フーリエ変換（FFT）による周波数分析でスペクトルを求め、このレベルをしきい値と比較することで燃焼振動を検出する方法は知られている。

【0004】しかしながら、従来の方法によれば、明らかに燃焼振動が発生した時点でないと検知できないため、兆候段階で燃焼振動を検知する手法と装置が求められている。

【0005】特開平9-269107号公報に、燃焼器の燃焼振動抑制装置およびその抑制方法が開示されている。この燃焼器の燃焼振動抑制装置は、燃焼振動抑制部を備える。燃焼振動抑制部は、燃焼器内の圧力センサーによって検出された、燃焼ガスの圧力変動を周波数分析する周波数分析装置と、この周波数分析装置によって分析された圧力変動の周波数帯域に基づき振動安定性を処理する中央演算処理装置と、この中央演算処理装置の出力信号を増幅する電圧増幅器と、増幅された出力信号を弁開閉信号として燃料弁に与えて制御するコントローラ部とをそれぞれ備える。

【0006】この抑制方法は、低周波数の燃焼振動に着目している。燃焼振動が起きた時の燃空比から、燃焼振動の周波数を予測する。そして、低周波数の燃焼振動の場合、燃空比を変化させて、低周波の燃焼振動の発生を抑制することができる。低周波の燃焼振動は、機器に影響を与えやすいので、それを抑制することで、機器の損傷を抑制する。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】従って、本発明の目的は、ガスタービンで発生する燃焼振動を事前に抑制し、燃焼安定性を向上することができるガスタービン制御装置及びガスタービンシステムを提供することである。

【0008】また、本発明の別の目的は、ガスタービンで行なう燃焼を、低公害で実施することが可能なガスタービン制御装置及びガスタービンシステムを提供することである。

【0009】また、本発明の更に別の目的は、ガスタービンで発生する燃焼振動の周波数を解析し、その解析結果に基づいて、燃焼振動の抑制を事前に適切に実行可能なガスタービン制御装置及びガスタービンシステムを提供することである。

【0010】本発明の更に他の目的は、ガスタービンの経年変化に対しても、燃焼安定性を事前に維持すること

が可能なガスタービン制御装置及びガスタービンシステムを提供することである。

【0011】本発明の更に他の目的は、ガスタービンの運転の信頼性を高めるとともに、寿命を延長し、メンテナンス等にかかるコストを低減することが可能なガスタービン制御装置及びガスタービンシステムを提供することである。

【0012】更に、本発明の他の目的は、ガスタービンの運転状況を遠隔地において監視し、異常発生時にも遠隔地で対応が可能なガスタービン遠隔監視システムを提供することである。

【0013】更に、本発明の他の目的は、複数のガスタービンの運転状況を遠隔地において集中監視し、運転管理の効率化を図ることが可能なガスタービン遠隔監視システムを提供することである。

【0014】

【課題を解決するための手段】以下に、[発明の実施の形態]で使用される番号・符号を用いて、課題を解決するための手段を説明する。これらの番号・符号は、[特許請求の範囲]の記載と[発明の実施の形態]との対応関係を明らかにするために付加されたものである。ただし、それらの番号・符号を、[特許請求の範囲]に記載されている発明の技術的範囲の解釈に用いてはならない。

【0015】従って、上記課題を解決するために、本発明のガスタービン制御装置は、ガスタービン(2)の燃焼器(111)内での圧力または加速度の振動を局所高速フーリエ変換により周波数分析し、前記局所高速フーリエ変換による周波数分析の結果を複数の周波数帯に分割した周波数帯別分析結果を出力する周波数解析部(212)と、前記周波数帯別分析結果に基づいて、前記燃焼器に供給する燃料の流量である第1燃料流量又は空気の流量である第1空気流量の少なくとも一方を制御する制御部(211)と、を具備する。

【0016】本発明のガスタービン制御装置において、前記周波数解析部(212)は、前記局所高速フーリエ変換による周波数分析の結果から定常ノイズを除去した結果を前記周波数帯別分析結果として出力する。

【0017】本発明のガスタービン制御装置において、前記周波数解析部(212)は、前記局所高速フーリエ変換による周波数分析の結果に対して、不完全微分処理(40)を行うことによって、前記定常ノイズを除去する。

【0018】本発明のガスタービン制御装置において、補正部(221)を更に具備し、前記制御部(211)は、更に、ガスタービンのプロセス量と前記ガスタービンを制御する制御信号とを前記補正部へ出力し、前記補正部は、前記周波数帯別分析結果において、前記振動の強度が予め設定したしきい値以上の周波数帯である異常周波数帯について、前記異常周波数帯の周波数と前記ア

ロセス量とに基づいて算出される補正量を決定し、その補正量と前記制御信号とに基づいて、前記第1燃料流量又は前記第1空気流量の少なくとも一方を制御する。

【0019】本発明のガスタービン制御装置において、複数の前記周波数帯別分析結果にそれぞれ設けられた複数の前記しきい値は、互いに異なる値に設定されている。

【0020】本発明のガスタービン制御装置において、前記周波数解析部は、更に、前記圧力または加速度の振動を高速フーリエ変換(61)により周波数分析し、前記補正部は、前記高速フーリエ変換による周波数分析の結果と、前記局所高速フーリエ変換による周波数分析の結果に基づいて、前記第1燃料流量又は前記第1空気流量の少なくとも一方を制御する。

【0021】本発明のガスタービン制御装置において、前記補正部は、更に、前記局所高速フーリエ変換による周波数分析の結果の変化率(28)を求め、前記変化率も考慮して、前記第1燃料流量又は前記第1空気流量の少なくとも一方を制御する。

【0022】本発明のガスタービン制御装置において、新規ガスタービンにおける燃料の流量である第2燃料流量又は空気の流量である第2空気流量と、燃焼ガスの振動の周波数帯別の周波数分析結果である新規周波数帯別分析結果との関係を記録しているデータベース(215)を更に具備し、前記補正部(230)は、前記周波数帯別分析結果と同等の値を示す前記新規周波数帯別分析結果に対応する前記第2燃料流量又は前記第2空気流量と、前記周波数帯別分析結果に対応する前記第1燃料流量又は前記第1空気流量とに基づいて、前記第1燃料流量又は前記第1空気流量の数値を較正する。

【0023】本発明のガスタービン制御装置において、前記第1燃料流量又は前記第1空気流量を試験的に変化させるための流量変化量を出力する試行点決定部(216)を更に具備し、前記補正部(233)は、前記流量変化量に基づいて、前記ガスタービンを前記試験の運転条件で制御し、前記周波数解析部は、前記試験の結果である試行周波数帯別分析結果を出力し、前記試行点決定部は、前記試行周波数帯別分析結果と前記プロセス量とに基づいて、前記振動の強度が前記試験の前よりも減少する前記ガスタービンの運転条件を決定する。

【0024】本発明のガスタービン制御装置において、前記第1燃料流量は、前記燃焼器のメイン燃料又はパイロット燃料の少なくとも一方の流量である。

【0025】本発明のガスタービン制御装置において、前記第1空気流量は、前記ガスタービンのバイパス空気又は入口案内翼により調整される空気の少なくとも一方の流量である。

【0026】本発明のガスタービンシステムは、上記ガスタービン制御装置と、前記燃焼器を有する前記ガスタービンと、を具備する。

【0027】本発明のガスタービン遠隔監視システムは、ガスタービンと、前記ガスタービンの制御を行なうガスタービン制御装置と、前記ガスタービン制御装置と通信回線で接続され、前記ガスタービンを遠隔監視する遠隔監視部と、を具備し、前記ガスタービン制御装置は、前記ガスタービンの燃焼器内での圧力の振動または加速度の振動を局所高速フーリエ変換により周波数分析し、前記局所高速フーリエ変換による前記周波数分析の結果を複数の周波数帯に分割した周波数帯別分析結果を出力する周波数解析部と、前記ガスタービンの運転に関

わる情報である運転状況データを有する制御部とを含み、前記遠隔監視部は、燃料流量及び空気流量と燃焼ガスの振動との関係である運転情報データを有する遠隔データベースと、前記ガスタービンの運転指示を出力する補正部とを含み、前記ガスタービン制御部は、前記運転状況データと前記周波数帯別分析結果とを前記遠隔監視部へ前記通信回線を介して出力し、前記遠隔監視部は、前記運転状況データと前記周波数帯別分析結果と前記運転情報データとから、前記ガスタービンの燃料流量又は空気流量の補正量を決定し、通信回線を介して出力し、前記ガスタービン制御部は、前記補正量に基づいて、前記燃料流量又は前記空気流量を制御する。

【0028】本発明のガスタービン制御方法は、ガスタービンの燃焼器の圧力の振動又は加速度の振動の少なくとも一方の測定結果を受信するステップと、前記測定の結果に基づいて、前記振動を複数の周波数帯に分割して局所高速フーリエ変換により周波数分析を行なうステップと、前記周波数分析の結果に基づいて、前記燃焼器に供給する燃料及び空気の流量の少なくとも一方を決定するステップと、前記決定した流量に基づいて、前記燃料

及び前記空気の流量の少なくとも一方を制御するステップと、を具備する。

【0029】本発明のプログラムは、上記ガスタービン制御方法を実行するためのプログラムである。

【0030】

【発明の実施の形態】以下、本発明のガスタービン制御装置の実施の形態に関して、添付図面を参照して説明する。本実施形態において、ガスタービンに使用される制御装置を例に示して説明するが、他の燃焼振動が発生する燃焼装置の制御においても、適用可能である。

【0031】まず、図25から図33を参照して、本実施形態のガスタービン制御装置の一部に用いられる周波数解析部について説明する。

【0032】本実施形態のガスタービン制御装置の一部に用いられる周波数解析部は、燃焼器に取り付けた内圧変動検出器やケーシングに取り付けた加速度検出器からの計測信号を入力し、ウィンドウサイズが小さく感度が高い局所高速フーリエ変換(LFFT)に基づく周波数分析によりスペクトルを求め、各周波数毎のスペクトルの時間変動に対して不完全微分処理を行うことにより、

燃焼振動の兆候を検知できかつタービンや圧縮機の固有振動で定常的に発生するスペクトルピークによる誤検知を回避可能な周波数解析部である。

【0033】LFFT(局所FFT)手法は、通常のFFT(高速フーリエ変換)よりも小さいウィンドウサイズで周波数分析することにより、予兆振動の検出感度を高める方法である。LFFT手法の特徴と燃焼振動予兆検知への適用にあたっての対応策を図25に示す。

【0034】図25に示すように、FFTは、大きなウィンドウサイズで周波数分析するのに対し、LFFTは、小さなウィンドウサイズで周波数分析を行う。FFTは、1024点の時系列のサンプリングデータを対象として周波数解析するのに対して、LFFTは、例えば128点の時系列のサンプリングデータを対象として周波数解析を行う(1/8のデータ数)。なお、LFFTのウィンドウサイズとしては、上記の128点に限られず、64点又は256点でもよい。

【0035】FFTは、感度が低いのに対し、LFFTは、感度が高い(利点)。FFTは、局所的に現れる振動は平均化されてキャッチできないのに対し、LFFTは、局所的に現れる振動を顕著なピークとしてキャッチすることができる。LFFTの感度の高さを活かして燃焼振動の予兆を検知することができる。図26から図28を参照して、この感度の違いについて説明する。

【0036】図26は、燃焼器に取り付けられた内圧変動検出器またはケーシングに取り付けられた加速度検出器からの計測信号を示している。図26の縦軸は、その計測値のレベルを示し、横軸は時間軸である。図26に示すように、本格的に燃焼振動が発生する以前には、短時間の間、燃焼振動の兆候が、局所的な振動として現れることが多い。上記のように、FFTはウィンドウサイズが大きいため、FFTによる周波数解析の結果は、図27のようになる。実際は、例えば4000Hz付近で燃焼振動の兆候が発生しているにもかかわらず、図27では、その振動レベルが低くしか現れず、検出できない。一方、LFFTはウィンドウサイズが小さいため、LFFTによる周波数解析の結果は、図28のようになる。図28では、4000Hz付近での振動レベルが大きく現れるため、燃焼振動の兆候を検出することができる。

【0037】図25に示すように、FFTは、周波数分解能が細かいのに対し、LFFTは、周波数分解能が粗い(欠点)。LFFTのウィンドウサイズがFFTに比べて1/8と小さいことに対応している。FFTは、タービン翼のNZ(固有周波数)成分と燃焼振動の周波数を分離できるため、予め、タービン翼のNZ成分を除去できる。LFFTは、タービン翼のNZ(固有周波数)成分と燃焼振動の周波数が重なる場合があり、予め、タービン翼のNZ成分を除去できない。圧縮機やタービンは回転体であり、固有周波数を有しており、その固有周

波数は、一定の値である。LFFTの適用に際しては、後述する定常ノイズ除去処理により、NZ成分と燃焼振動の周波数を分類する。

【0038】FFTは、演算処理が遅いのに対し、LFFTは、演算処理が速い(利点)。FFTは、演算に要する時間がLFFTよりも大きい。LFFTは、ウィンドウサイズが小さいため、演算に要する時間が少なく、リアルタイム処理に向いている。LFFTを適用すれば、短時間の対象区間毎の高速な診断が可能であり、燃焼振動の予兆を迅速に検知して、本格的な燃焼振動が発生する前の対応を取り易くできる。

【0039】次に、図29から図32を参照して、燃焼振動の予兆の検知例について説明する。

【0040】図29は、縦軸が内圧の変動を示しており、横軸が時間を示している。図29の○印の時点で燃焼振動の予兆が発生しており、△印の時点で燃焼振動が発生している。○印の時点で燃焼振動の予兆は、aHz付近で生じているものとする。

【0041】従来のFFTを用いた手法であると、△印の時点でしか振動を検知できなかったのに対し、本実施形態のLFFTを用いた手法では、以下の理由により、△印より約3秒前の○印の時点で振動を検知することができた。3秒前に予兆を検知できれば、燃焼振動発生を未然に回避するための、後述する燃料調節弁の開度等の制御を行うことができる。

【0042】図30は、図29の○印付近でFFTによる周波数解析を行った結果を示している。横軸が周波数であり、縦軸が振動レベルである。図30では、aHz付近でピークが現れているが、そのピークは顕著には現れていない。前述したように、FFTのウィンドウサイズが大きいためである。FFTのサンプリング時間に対して、aHzの振動が発生している時間の占める割合が小さいため、従来手法では平均化されて大きなピークとはならない。

【0043】図31は、図29の○印付近でLFFTによる周波数解析を行った結果を示している。図31では、LFFTのウィンドウサイズが小さいため、aHz付近でピークが顕著に現れている。そのピークは、しきい値を大きく超えた値として検出される。

【0044】ただし、図31では、bHz付近にも一つのピークが、しきい値を超えて顕著に現れている。このbHz付近の振動は、上記回転体の固有周波数の定常ノイズに相当している。前述のように、LFFTは、周波数分解能が粗いことに起因している。

【0045】LFFTを用いる手法においては、後述する方法により、その定常ノイズの成分を、図31の破線(定常成分)に示すように求めることができる。そこで、図31において、実線で示される局所FFTの結果から、破線で示される定常成分を引くと、その差分として図32が得られる。

【0046】図32によれば、aHz付近の振動(燃焼振動の兆候)のみが、しきい値を超えた値として現れる。定常ノイズ除去処理を行うことで、急激に増大しているスペクトルのみを取り出すことができ、誤検知耐力に優れた予兆検知が可能になっている。

【0047】次に、図33を参照して、本実施形態のガスタービン制御装置の一部に用いられる周波数解析及び燃焼振動の予兆(後述する異常周波数帯)の検出のロジックについて説明する。

【0048】図33に示すように、LFFT演算器(LFFTによる周波数解析部)21には、128点の時系列の内圧または加速度のデータ20が、LFFT演算時の一単位として入力される。LFFT演算器21からは、LFFTの周波数分解能毎のスペクトルの値31a、31b、31c…が出力される。そのLFFTの周波数分解能毎のスペクトルの値31a、31b、31c…のそれぞれに対して、次の処理が実行される。以下では、値31aについてのみ説明するが、値31b、値31c…についても同様の処理が実行される。

【0049】LFFTの周波数分解能に対応した単一の周波数帯のスペクトルのデータ31aは、一次遅れ器22に輸入され、一次遅れを有するデータ32aが一次遅れ器22から出力される。

【0050】加算器23では、データ31aから、一次遅れ器22からの出力値32aが減算され、その減算値33aが加算器23から出力される。データ31aは、図31に実線で示される局所FFT結果のうちのデータ31aに対応する周波数帯の部分に相当している。データ32aは、図31に破線で示される定常成分のうちのデータ31aに対応する周波数帯の部分に相当している。データ33aは、図32に示されるグラフのうちのデータ31aに対応する周波数帯の部分に相当している。

【0051】一次遅れ器22および加算器23は、定常ノイズ除去処理部(不完全微分処理部)40に含まれている。一次遅れ器22は、伝達関数 $G(s)$ で示せば、 $G(s) = 1/(1+Ts)$ である。不完全微分処理部40から出力されるデータ33aは、伝達関数 $G(s) = 1 - 1/(1+Ts) = Ts/(1+Ts)$ である。すなわち、定常ノイズ除去処理部は、スペクトルデータ31aの時間変動成分を取り出す働きをする。

【0052】加算器23から出力されたデータ33aは、移動平均処理部24に輸入される。移動平均処理部24では、過去に輸入した1回から複数回(例えば5回)のデータ33aを平均化し、その平均化した結果をデータ34aとして出力する。ここで、平均化するの誤検知防止(ノイズ除去)のためである。

【0053】移動平均処理部24から出力されたデータ34aは、設定値比較部25に輸入される。設定値比較部25では、設定されたしきい値(図2(a)の α_1)

と、データ34aとが比較され、その比較の結果、データ34aがしきい値(図2(a)の α_1)を超えていれば、設定値比較部25からデータ35aとしてオン信号が出力される。一方、その比較の結果、データ34aがしきい値(図2(a)の α_1)以下であれば、データ35aとしてオフ信号が出力される。

【0054】設定値比較部25から出力されたデータ35aは、オンディレイ処理部26に入力される。オンディレイ処理部26は、過去に入力した1回から複数回(例えば5回)分のデータ35aが連続してオン信号であるときに、データ36aとして、オン信号を出力する。一方、オンディレイ処理部26は、過去に入力した1回から複数回(例えば5回)分のデータ35aが連続してオン信号とはならなかったときには、データ36aとして、オフ信号を出力する。データ36aとしてオン信号が出力されたときには、異常周波数帯(燃焼振動の予兆)として検出される。ここで、オンディレイ処理を行うのは誤検知防止(ノイズ除去)のためである。

【0055】上述したように、上記データ36aのみに基づいて、異常周波数帯を検知することもできるが、次に述べる手法を行うこともできる。

【0056】上記の移動平均処理部24、設定値比較部25、オンディレイ処理部26を含むレベル比較処理(高設定)部41に加えて、レベル比較処理(低設定)部42と、変化率比較処理部43を追加することができる。

【0057】レベル比較処理(低設定)部42は、移動平均処理部24a、設定値比較部27、オンディレイ処理部26aを含んでいる。設定値比較部27では、レベル比較処理(高設定)部41の設定値比較部25で設定されたしきい値(図2(a)、(b)の α_1)よりも低い値のしきい値(図2(b)の α_{101})が設定されている。設定値比較部27からの出力値がデータ37aとして出力される。移動平均処理部24aで行う処理は、移動平均処理部24と同様である。オンディレイ処理部26aで行う処理は、オンディレイ処理部26と同様である。

【0058】変化率比較処理部43は、差分処理部28と、移動平均処理部24bと、設定値比較部29と、オンディレイ処理部26bを含んでいる。差分処理部28は、過去に入力した直前回のデータ33aから、現在入力したデータ33aを減算してなる差分値がデータ38aとして出力される。データ38aは、前回から現在までの値33aの変化を示す傾きに相当している。移動平均処理部24bで行う処理は、移動平均処理部24と同様である。設定値比較部29では、上記傾きに対応するしきい値(図2(b)の α_{201})が設定されており、設定値比較部29への入力データが、そのしきい値(図2(b)の α_{201})を超えていれば、設定値比較部29からデータ39aとしてオン信号が出力され、そのし

きい値を超えていなければデータ39aとしてオフ信号が出力される。オンディレイ処理部26bで行う処理は、オンディレイ処理部26と同様である。

【0059】レベル比較処理(低設定)部42からの出力データと、変化率比較処理部43からの出力データの双方がオン状態を示しているときのみ(AND条件)、データ40aは、オン状態となる(異常周波数帯の検出を示す)。

【0060】そして、上記データ36a及びデータ40aの少なくともいずれか一方がオン状態であれば、オン状態のデータ50aが出力される。データ50aがオン状態を示しているときには、データ31aの周波数帯が異常周波数帯であることが検出されたことを示している。

【0061】そして、上記と同様にして、データ31bに対しては、データ50bが出力され、データ31cに対しては、データ50cが出力される。データ50a、50b、50c…のうちの少なくともいずれかがオン状態であれば、データ55がオン状態となる。データ55がオン状態にあるとき、異常周波数帯が検出されたことになる。

【0062】なお、単一の周波数帯のスペクトルのデータ31aに対して設定された、設定値比較部25のしきい値(図2(a)の α_1)は、他の単一の周波数帯のスペクトルのデータ31b、31c…に対して設定された、設定値比較部25のしきい値と異なる値(図2(a)の α_2 、 α_3 …)に設定される。同様に、データ31aに対して設定された、設定値比較部27のしきい値(図2(b)の α_{101})は、データ31b、31c…に対して設定された、設定値比較部27のしきい値(図2(b)の α_{102} 、 α_{103} …)と異なる値に設定され、更に、データ31aに対して設定された、設定値比較部29のしきい値(図2(b)の α_{201})は、データ31b、31c…に対して設定された、設定値比較部29のしきい値(図2(b)の α_{202} 、 α_{203} …)と異なる値に設定される。

【0063】以上が本実施形態のガスタービン制御装置の一部に用いられる周波数解析部及び異常周波数帯検知部であるが、この構成例に基づいて、本実施形態のガスタービン制御装置の一部に用いられる周波数解析部及び異常周波数帯検知部として、以下の第1から第8実施例を考えることができる。

【0064】(第1実施例)図17を参照して、第1実施例の周波数解析部212a及び異常周波数帯検知部250aについて説明する。なお、図17において、図33と共通する部分については同じ符号を付し、その詳細な説明を省略する。

【0065】第1実施例の周波数解析部212aは、ガスタービン2の燃焼器に取り付けた内圧変動検出器11やケーシングに取り付けた加速度検出器12からの計測

信号20を入力し、ウィンドウサイズが小さく感度が高い局所高速フーリエ変換(LFFT)に基づく周波数分析(LFFT演算部21)によりスペクトル(データ31a、31b、31c...)を求め、各周波数毎のスペクトル(データ31a、31b、31c...)の時間変動に対して不完全微分処理(不完全微分処理部40)を行う。

【0066】第1実施例の異常周波数帯検知部250aでは、その不完全微分処理が行われた結果(データ33a)が、少なくとも2つに分割された周波数帯毎に異なる値に設定された設定レベル(設定値比較部25)を設定時間以上連続して超えた場合(オンディレイ処理部26)に予兆検知(異常周波数帯)と判定する。

【0067】以上のことにより、燃焼振動の兆候を検知できかつタービンや圧縮機の固有振動で定常的に発生するスペクトルピークによる誤検知を回避可能である。

【0068】(第2実施例)図18を参照して、第2実施例の周波数解析部212b及び異常周波数帯検知部250bについて説明する。

【0069】第2実施例は、燃焼器に取り付けた内圧変動検出器11やケーシングに取り付けた加速度検出器12からの計測信号20を入力し、高速フーリエ変換(FFT)に基づく周波数分析(高速フーリエ変換演算部61)により求めたスペクトルが少なくとも2つに分割された周波数帯毎に異なる値に設定された設定レベル(設定値比較部62)を設定時間以上連続して超えた場合(オンディレイ処理部63、データ36a)と、(実施例1)の検知結果(データ36a)との論理和を求めることにより、燃焼振動の兆候(異常周波数帯)を検知できるだけでなく緩やかにスペクトルレベルが上昇する燃焼振動(異常周波数帯)も同時に検知できる。

【0070】図22から図24に示すように、主として、500~5000Hz程度の高周波領域で発生する燃焼振動の兆候は、瞬時に大きな振幅を有する振動として発生することが多い。そのため、LFFTによる周波数分析によって、検知し易い。

【0071】これに対し、例えば500Hz以下の低周波領域の振動は、ある程度の長さの時間をかけて初め小さかった振幅が漸次大きくなっていく振動(緩やかにスペクトルレベルが上昇する燃焼振動)として発生するケースがある。このように緩やかにレベルが上昇する主として低周波領域での振動は、上記実施例1のLFFTを用いた手法であると、不完全微分処理部40にて定常ノイズとして除去されてしまうため検知できない一方、FFTによる周波数分析では問題なく検知することができる。そこで、FFTによる周波数分析結果を用いて得られたデータ63aと、上記実施例1によって得られたデータ36aとの論理和を求めることにより、多様な形態で発生する燃焼振動の兆候(異常周波数帯)を確実に検知することができる。

【0072】なお、FFTは、上記のように、周波数分解能が細かいため、不完全微分処理は不要である。

【0073】(第3実施例)図19を参照して、第3実施例の周波数解析部212c及び異常周波数帯検知部250cについて説明する。

【0074】第3実施例は、(実施例1)の不完全微分処理結果のレベル比較(データ36a)に加え、差分による時間変化率(差分処理部28)が少なくとも2つに分割された周波数帯毎に異なる値に設定された設定レベル(設定値比較部29)を設定時間以上連続して超え(オンディレイ処理部26b)、かつ不完全微分処理結果(データ33a)が単独レベル比較(設定値比較部25)よりも低い設定値の少なくとも2つに分割された周波数帯毎に異なる値に設定された設定レベル(設定値比較部27)を設定時間以上連続して超えた場合(オンディレイ処理部26a)に異常周波数帯と判定することにより、より早期に異常周波数帯を検知できる。

【0075】図19の第3実施例は、上述した図33の本実施形態の構成に対応している。

【0076】(第4実施例)図20を参照して、第4実施例の周波数解析部212d及び異常周波数帯検知部250dについて説明する。

【0077】第4実施例は、(実施例2)の不完全微分処理結果のレベル比較に加え、差分による時間変化率が少なくとも2つに分割された周波数帯毎に異なる値に設定された設定レベルを設定時間以上連続して超え、かつ不完全微分処理結果が単独レベル比較よりも低い設定値の少なくとも2つに分割された周波数帯毎に異なる値に設定された設定レベルを設定時間以上連続して超えた場合に異常周波数帯と判定することにより、より早期に異常周波数帯を検知できる。

【0078】図20の第4実施例は、実施例2と実施例3を合わせた構成になっている。

【0079】(第5実施例)図21を参照して、第5実施例の周波数解析部212e及び異常周波数帯検知部250eについて説明する。

【0080】第5実施例は、(実施例1)において、レベル比較後のオンディレイタイマ設定を固定ではなく、レベル比較の設定値(設定値比較部25)と計測スペクトルとの偏差の時間積分値が誤差設定値(誤差比較処理部71)を超えた場合に異常周波数帯と判定する。

【0081】図21に示すように、第5実施例では、図17の第1実施例のオンディレイ処理部26に代えて、誤差比較処理部71が設けられている。図34及び図36に示すように、誤差比較処理部71では、計測スペクトル33aが設定値比較部25でのしきい値V1を超えた偏差を時間で積分した値を求め、その時間積分値が誤差比較処理部71に設定されているしきい値(誤差設定値)を超えたときに、異常周波数帯を示すオン状態のデータ71aを出力する。

【0082】第1実施例のオンディレイ処理部26では、設定時間 t_1 が固定であったため、符号W1で示すように、データ33aが連続してしきい値V1を超えている時間が設定時間 t_1 を超えたときに初めて、兆候検知を示すオン状態のデータ36aを出力する(図35参照)。

【0083】これに対し、図34及び図36に示すように、第5実施例の誤差比較処理部71では、符号W2に示すような、急激にしきい値V1を大きく超えるデータ33aに対して、その偏差の時間積分値が誤差設定値を超えた時点で、オン状態のデータ71aを出力するため、瞬時にしきい値V1を大きく超える計測スペクトル(W2)に対しては、オンディレイ処理部26の設定時間 t_1 を経過する以前に(迅速に)、兆候を検知することができる。なお、誤差比較処理部71では、オンディレイ処理部26の設定時間 t_1 を経過する以前に、一旦しきい値V1を下回った場合は、積分値を0にリセットする。

【0084】(第6実施例)図22を参照して、第6実施例の周波数解析部212f及び異常周波数帯検知部250fについて説明する。

【0085】第6実施例は、(実施例2)において、レベル比較後のオンディレイタイマ設定を固定ではなく、レベル比較の設定値と計測スペクトルとの偏差の時間積分値が誤差設定値を超えた場合に異常周波数帯と判定する。

【0086】第6実施例では、図18の第2実施例のオンディレイ処理部26に代えて、誤差比較処理部71が設けられ、オンディレイ処理部63に代えて、誤差比較処理部72が設けられている。

【0087】第6実施例の変形例(図示せず)としては、図22の構成のうち、オンディレイ処理部26の誤差比較処理部71への置換、及びオンディレイ処理部63の誤差比較処理部72への置換をいずれか一方のみを行ってもよい。

【0088】(第7実施例)図23を参照して、第7実施例の周波数解析部212g及び異常周波数帯検知部250gについて説明する。

【0089】第7実施例は、(実施例3)において、レベル比較後のオンディレイタイマ設定を固定ではなく、レベル比較の設定値と計測スペクトルとの偏差の時間積分値が誤差設定値を超えた場合に異常周波数帯と判定する。

【0090】第7実施例では、図19の第3実施例のオンディレイ処理部26に代えて、誤差比較処理部71が設けられ、オンディレイ処理部26aに代えて、誤差比較処理部73が設けられ、オンディレイ処理部26bに代えて、誤差比較処理部74が設けられている。

【0091】第7実施例の変形例(図示せず)としては、図23の構成のうち、オンディレイ処理部26の誤

差比較処理部71への置換、オンディレイ処理部26aの誤差比較処理部73への置換、及びオンディレイ処理部26bの誤差比較処理部74への置換の少なくともいずれか一つ又は二つのみを行ってもよい。

【0092】(第8実施例)図24を参照して、第8実施例の周波数解析部212h及び異常周波数帯検知部250hについて説明する。

【0093】第8実施例は、(実施例4)において、レベル比較後のオンディレイタイマ設定を固定ではなく、レベル比較の設定値と計測スペクトルとの偏差の時間積分値が誤差設定値を超えた場合に異常周波数帯と判定する。

【0094】第8実施例では、図20の第4実施例のオンディレイ処理部26に代えて、誤差比較処理部71が設けられ、オンディレイ処理部26aに代えて、誤差比較処理部73が設けられ、オンディレイ処理部26bに代えて、誤差比較処理部74が設けられ、オンディレイ処理部63に代えて、誤差比較処理部72が設けられている。

【0095】第8実施例の変形例(図示せず)としては、図24の構成のうち、オンディレイ処理部26の誤差比較処理部71への置換、オンディレイ処理部26aの誤差比較処理部73への置換、オンディレイ処理部26bの誤差比較処理部74への置換、及びオンディレイ処理部63の誤差比較処理部72への置換の少なくともいずれか一から三つのみを行ってもよい。

【0096】次に、図11を参照して、本発明であるガスタービン制御装置及びガスタービンシステムに関わるガスタービン2について説明する。

【0097】図11は、ガスタービン2の構成を示す概略図である。ガスタービン2は、タービン本体部100と燃焼部110とを具備する。

【0098】ただし、燃焼部110は、複数(m基)の燃焼器を有している。ここでは、複数の燃焼器111-1~mの全てに共通の説明の場合には、燃焼器111とし、個別の燃焼器についての説明の場合には、例えば、燃焼器111-1(1番目の燃焼器の意味)と記す。燃焼器111に付属の構成であるバイパス空気導入管117、バイパス弁118、バイパス空気混合管119、燃焼ガス導入管120、メイン燃料供給弁115及びパイロット燃料供給弁116についても、同様である。

【0099】また、図11では、燃焼器111の内、1番目の燃焼器である燃焼器111-1のみを代表的に示している。説明も燃焼器111-1及びその関連の構成のみについて行なう。

【0100】タービン本体部100は、入口案内翼102を有する圧縮機101、回転軸103、タービン104を具備する。また、燃焼部110は、圧縮空気導入部112、バイパス空気導入管117-1、バイパス弁118-1、バイパス空気混合管119-1、燃焼ガス導

17

入管120-1、燃焼器111-1、メイン燃料流量制御弁113、パイロット燃料流量制御弁114、メイン燃料供給弁115-1、パイロット燃料供給弁116-1とを具備する。ガスタービン2には、発電機121が接続している。

【0101】外部から導入された空気は、圧縮機101で圧縮され、各燃焼器111へ供給される。一方、燃料の一部は、パイロット燃料流量制御弁114経由で、各燃焼器111のパイロット燃料供給弁116に達する。そして、そこから各燃焼器111へ導入される。また、10 残りの燃料は、メイン燃料流量制御弁113経由で、各燃焼器111のメイン燃料供給弁115に達する。そして、そこから各燃焼器111へ導入される。導入された空気及び燃料は、各燃焼器111において燃焼する。燃焼により発生した燃焼ガスは、タービン104に導入され、タービン104を回転させる。その回転エネルギーにより、発電機121が発電する。

【0102】次に、図11の各部について説明する。最初に、タービン本体部100について説明する。

【0103】タービン104は、燃焼ガス導入管120 20 と燃焼ガスを外部に排出する配管とに接続している。また、回転軸103を介して圧縮機101及び発電機121に結合している。そして、燃焼ガス導入管120経由で、燃焼器111から燃焼ガスの供給を受ける。その燃焼ガスの有するエネルギーを回転エネルギーに変換して回転する。その回転により、発電機121や圧縮機101を回転する。発電に使用した燃焼ガスは、外部に排出する。

【0104】圧縮機101は、外部から空気を導入する配管と圧縮空気導入部112とに接続している。また、 30 回転軸103を介してタービン104及び発電機121に結合している。そして、タービン104の回転を伝達され回転する。その回転により、外部から空気を導入する。そして導入した空気を、圧縮して、燃焼器111へ送出する。

【0105】入口案内翼102は、圧縮機101の空気導入側の回転翼である。回転翼の角度を制御することにより、回転数一定でも、圧縮機101へ導入する空気の流量を調整することが可能である。回転翼の制御は、後述のガスタービン制御部3により行なわれる。

【0106】回転軸103は、圧縮機101、タービン104、発電機121を接続している。タービン104の回転力を圧縮機101及び発電機121に伝達する軸である。

【0107】発電機121は、回転軸103によりタービン104と接続している。タービン104の回転エネルギーを、電力エネルギーに変換する発電装置である。

【0108】次に、燃焼部110について説明する。

【0109】圧縮空気導入部112は、圧縮機101に接続された導入管や燃焼部110のケーシング(車室) 50

18

内の空気を導く空間などである。圧縮機101で圧縮された圧縮機吐出空気を燃焼器111-1へ導く。

【0110】バイパス空気導入管117-1は、圧縮空気導入部112内に一端部が開放されて接続され、他端部はバイパス弁118-1に接続している。圧縮機吐出空気の内、燃焼器111-1に供給しない分を、タービン104へバイパスする管である。

【0111】バイパス弁118-1は、一方をバイパス空気導入管117-1に接続し、他方をバイパス空気混合管119-1に接続している。バイパス空気導入管117-1を通過する空気の流量を制御する弁である。空気流量の制御は、後述のガスタービン制御部3により行なわれる。

【0112】バイパス空気混合管119-1は、一端部をバイパス弁118-1に、他端部を燃焼ガス導入管120-1に接続している。バイパス弁118-1を通過した空気を、燃焼器111-1で生成した燃焼ガスと混合するために燃焼ガス導入管120-1に供給する。

【0113】メイン燃料流量制御弁113は、一方を外部から燃料を供給する配管に、他方を複数のメイン燃料供給弁115(-1~m)に接続した配管に接続している。外部から供給される燃料の燃焼器111への流量を制御する。燃料流量の制御は、後述のガスタービン制御部3により行なわれる。メイン燃料流量制御弁113を経由する燃料は、燃焼器111のメインバーナーで使用される。

【0114】メイン燃料供給弁115-1は、一方をメイン燃料流量制御弁113につながる配管に、他方を燃焼器111-1のメインバーナーにつながる配管に接続している。燃焼器111-1のメインバーナーに供給する燃料を制御する弁である。燃料流量の制御は、後述のガスタービン制御部3により行なわれる。

【0115】パイロット燃料流量制御弁114は、一方を外部から燃料を供給する配管に、他方を複数のパイロット燃料供給弁116(-1~m)に接続した配管に接続している。外部から供給される燃料の燃焼器111への流量を制御する。燃料流量の制御は、後述のガスタービン制御部3により行なわれる。パイロット燃料流量制御弁114を経由する燃料は、燃焼器111のパイロットバーナーで使用される。

【0116】パイロット燃料供給弁116-1は、一方をパイロット燃料流量制御弁114につながる配管に、他方を燃焼器111-1のパイロットバーナーにつながる配管に接続している。燃焼器111-1のパイロットバーナーに供給する燃料を制御する弁である。燃料流量の制御は、後述のガスタービン制御部3により行なわれる。

【0117】燃焼器111-1は、空気を供給する圧縮空気導入部112と、燃料を供給するメイン燃料供給弁115-1につながる配管と、燃料を供給するパイロ

ト燃料供給弁116-1とにつながる配管と、燃焼ガスを送出する燃焼ガス導入管120-1に接続している。そして、空気と燃料との供給を受け、それらを燃焼し、高温高圧の燃焼ガスを生成する。生成された燃焼ガスは、タービン104に向けて送出する。

【0118】燃焼ガス導入管120-1は、一端部を燃焼器111-1に、他端部をタービン104に接続している。また、途中にバイパス空気混合管119-1が接合している。燃焼ガス及びバイパス空気をタービン104に供給する配管である。

【0119】(第1実施形態)次に、上記ガスタービン2を有する本発明のガスタービン制御装置及びガスタービンシステムの第1の実施形態について、図面を参照して説明する。

【0120】なお、以下に述べる実施形態に関連する技術が、本出願人による特願2001-253299に開示されている。

【0121】図1は、本発明であるガスタービン制御装置及びガスタービンシステムの実施形態を示すブロック図である。ガスタービンシステム1は、ガスタービン2とガスタービン制御装置としてのガスタービン制御部3とを具備する。

【0122】ガスタービン2は、プロセス量計測部4、メイン燃料流量調整部5、パイロット燃料流量調整部6、バイパス空気流量調整部7、入口案内翼調整部8、圧力変動測定部9及び加速度測定部10を有する。

【0123】一方、ガスタービン制御部3は、制御部211、周波数解析部212、及び、補正部としてのパイロット燃料補正部221を有する。パイロット燃料補正部221は、補正量決定部222と加算部223とを有する。補正量決定部222は、異常周波数帯検知部250を有する。

【0124】ここで、図1の周波数解析部212及び異常周波数帯検知部250からなる組としては、図17から図24に示した、周波数解析部212aと異常周波数帯検知部250aの組、周波数解析部212bと異常周波数帯検知部250bの組、周波数解析部212cと異常周波数帯検知部250cの組、周波数解析部212dと異常周波数帯検知部250dの組、周波数解析部212eと異常周波数帯検知部250eの組、周波数解析部212fと異常周波数帯検知部250fの組、周波数解析部212gと異常周波数帯検知部250gの組、及び周波数解析部212hと異常周波数帯検知部250hの組の中からいずれの組をも適用することができる。この場合、周波数解析部212a~212hと異常周波数帯検知部250a~250hの各組を適用した場合の効果は、上述した通りである。

【0125】本実施形態では、ガスタービン2は、第1燃料流量としてのメイン燃料流量及びパイロット燃料流量、第1空気流量としてのバイパス空気流量及び入口案

内翼を経由する空気流量(メイン燃料流量調整部5、パイロット燃料流量調整部6、バイパス空気流量調整部7及び入口案内翼調整部8)が制御されて、燃焼器111において燃焼を行なう。そして、その燃焼ガスにより発電などの仕事を行なう。運転状況は、プロセス量(プロセス量計測部4)として計測している。また、燃焼により発生する圧力及び加速度の振動(圧力変動測定部9、加速度測定部10)を計測する。

【0126】一方、本実施形態では、ガスタービン制御部3は、燃料及び空気を制御し、ガスタービン2の運転を行なっている。また、ガスタービン2の運転状況を、プロセス量を把握することにより監視している。そして、燃焼により発生する圧力及び加速度の振動を把握し、その内容をLFFTを用いて周波数分析(周波数解析部212)する。そして、本実施形態では、その周波数分析の結果に基づいて異常周波数帯を検出し、その異常周波数帯の検出結果に基づいて、パイロット燃料の流量調整の補正値を決定(パイロット燃料補正部221)し、パイロット燃料流量調整部6へ出力し、圧力の振動を抑制する。

【0127】すなわち、ガスタービン制御部3は、ガスタービン2で発生する燃焼振動を把握する。そして、その周波数特性に応じて適切にガスタービン2の運転を制御(本実施形態では、特にパイロット燃料を適宜、振動状態に応じて変更)し、燃焼振動を抑制することが可能となる。

【0128】図1の各部について説明する。ガスタービン2は、図11で説明したガスタービンである。図1では、ブロック図により、その構成を示している。

【0129】プロセス量計測部4は、ガスタービン2の運転中における、運転条件や運転状態を示すプロセス量を計測する各種計測機器である。ガスタービン2上の燃るべき部位に設置され、測定結果は、ガスタービン制御部3の制御部211(後述)へ出力する。ここで、プロセス量は、例えば、発電電力(発電電流、発電電圧)、大気温度、湿度、各部での燃料流量及び圧力、各部での空気流量及び圧力、燃焼器での燃焼ガス温度、燃焼ガス流量、燃焼ガス圧力、圧縮機やタービンの回転数などである。

【0130】メイン燃料流量調整部5は、制御部211からの指令により、メイン燃料の流量の制御を行なう。メイン燃料流量制御弁113及びメイン燃料供給弁115-1~mを具備する。全体のメイン燃料の流量の制御は、メイン燃料流量制御弁113の調整により行なう。各燃焼器111-1~mのメイン燃料の流量の制御は、各メイン燃料供給弁115-1~mの調整により行なう。

【0131】パイロット燃料流量調整部6は、制御部211からの指令により、パイロット燃料の流量の制御を行なう。パイロット燃料流量制御弁114及びパイロ

ト燃料供給弁116-1~mを具備する。全体のパイロット燃料の流量の制御は、パイロット燃料流量制御弁114の調整により行なう。各燃焼器111-1~mのパイロット燃料の流量の制御は、各パイロット燃料供給弁116-1~mの調整により行なう。

【0132】バイパス空気流量調整部7は、制御部211からの指令により、各燃焼器111-1~mへ供給する空気の流量の制御を行なう。バイパス空気導入管117-1~m、バイパス弁118-1~m及びバイパス空気混合管119-1~mを具備する。そして、各燃焼器111-1~mにおいて、バイパス弁118-1~mの開度を大きく（あるいは小さく）し、バイパス側に流れる空気流量を増加（あるいは減少）することにより、燃焼器に供給される空気の流量を少なく（あるいは多く）制御する。

【0133】入口案内翼調整部8は、制御部211からの指令により、圧縮機101に導入される空気の流量の制御を行なう。入口案内翼102の回転翼の角度を制御することにより、圧縮機101へ導入する空気の流量を調整する。

【0134】圧力変動測定部9は、各燃焼器111-1~mに取り付けられた圧力測定器である。制御部211からの指令により、各燃焼器111-1~m内の圧力を計測する。そして、各燃焼器111-1~mの圧力変動測定値を、ガスタービン制御部3の周波数解析部212へ出力する。

【0135】加速度測定部10は、各燃焼器111-1~mの内部に取り付けられた加速度測定器である。制御部211からの指令により、各燃焼器111-1~mの加速度（位置の2階微分）を計測する。そして、各燃焼器111-1~mの加速度測定値を、ガスタービン制御部3の周波数解析部212へ出力する。

【0136】一方、ガスタービン制御部3は、ガスタービン2で計測されたプロセス量や圧力、加速度のデータに基づいてガスタービン2を制御し、ガスタービン2において燃焼振動が発生しないようにする。

【0137】制御部211は、ガスタービン2で計測されたプロセス量に基づいて、メイン燃料流量調整部5、バイパス空気流量調整部7及び入口案内翼調整部8を制御信号を出力して制御する。また、通常のパイロット燃料流量調整部6を制御する信号を、パイロット燃料補正部221（後述）へ出力し、パイロット燃料補正部221によるパイロット燃料流量調整部6の制御を補佐する。メイン燃料流量調整部5、バイパス空気流量調整部7及び入口案内翼調整部8の制御は、フィードフォワード法による制御、フィードバック法による制御、PID法による制御などで行なう。

【0138】周波数解析部212は、各燃焼器111-1~mにおいて、圧力変動測定部9で計測された圧力変動測定値に基づいて、圧力の変動（振動）の周波数分析

（LFFTを用いた周波数分析）を行なう。そして、複数の周波数帯に区切って、周波数帯別分析結果として出力する。又は、加速度測定部10で計測された加速度測定値に基づいて、加速度の周波数分析（LFFTを用いた周波数分析）を行なう。そして、複数の周波数帯に区切って、周波数帯別分析結果として出力する。そして、出力された各燃焼器111-1~mの分析結果は、パイロット燃料補正部221へ送出される。

【0139】補正部としてのパイロット燃料補正部221は、圧力又は加速度の周波数帯別分析結果に基づいて、異常周波数帯を検出し、その検出結果とプロセス量に基づいて、補正量を算出する。そして、制御部211からのパイロット燃料流量調整部6を制御する制御信号にその補正量を加えて、パイロット燃料流量調整部6へ出力する。制御部211に含まれていてもよい。

【0140】補正量決定部222は、周波数解析部212からの圧力又は加速度の周波数帯別分析結果と、制御部211からのプロセス量とに基づいて、自身が有する補正量決定表（図2、図3など、後述）から、パイロット燃料流量調整部6を制御する制御信号に対する補正量を決定する。決定した補正量は、加算部223へ出力する。

【0141】加算部223は、制御部211からのパイロット燃料流量調整部6を制御する制御信号に、補正量決定部222で決定された補正量を加えて、パイロット燃料流量調整部6を制御する制御信号として、パイロット燃料流量調整部6へ出力する。

【0142】次に、本発明のガスタービン制御装置及びガスタービンシステムの実施の形態の動作について、図面を参照して説明する。ここで、ガスタービン運転時の制御に使用する補正の基礎となるデータの決定方法について説明する。

【0143】図14は、圧力変動測定部9により測定された圧力変動測定値に基づいて、周波数解析部212にて周波数分析を行なった結果の一例である。横軸は周波数、縦軸は振動の強度（レベル）を示している。図14に示すように、燃焼器111において発生する燃焼振動（圧力振動及び加速度振動）及びその予兆は、複数の振動の周波数を有する。従って、燃焼振動を抑制するためには、それら複数の振動のそれぞれに対応した制御を行なう必要がある。

【0144】ここで、各周波数の振動は、それぞれ複雑な要因により発生しているために、画一的な制御、あるいは、一つのパラメータを制御することだけでは、振動を抑えることは難しい。また、振動数により、ガスタービン2に与える影響が異なる。従って、同じ振動強度でも、ある周波数では許容範囲であっても、他の周波数においては致命的である場合もありうる。以上の点から、ガスタービン2の運転条件の制御は、振動の周波数に応じて、複数のパラメータに対して行なう必要がある。

【0145】そこで、次に示す方法により、補正の基礎となる補正量データ(図2(a)の表)の作成を行なう。図2(a)の表は、周波数帯、しきい値、補正値の各項目からなる。各項目について説明する。

【0146】周波数帯：周波数分析を行なった結果に基づいて、対応を行なう最小単位となる周波数領域である。まず、圧力及び加速度の変動を調べる周波数範囲を決定する。例えば、図14においては、振動は、主に0～5000Hzで発生していることから、周波数範囲を0～5000Hzとする。そして、その周波数範囲を、
10 適当な大きさの周波数帯に区切り、 n 個に分割する。例えば、50Hz毎に区切るとすると、 $n=100$ となる。なお、この周波数帯は、必ずしも一定の大きさである必要はない。

【0147】しきい値：各周波数帯において、許容できる最高の振動強度を示す値である。各周波数帯(周波数帯1～ n)に対して、圧力及び加速度の強度のしきい値($\alpha_1 \sim \alpha_n$)を決定する。しきい値は、例えば、その周波数の振動により、共振する部材や構造があるか、損傷を受け易い部材や構造があるか、どのくらいの強度の
20 振動まで許容できるかなどにより決定する。なお、このしきい値は、各周波数帯で、必ずしも共通の一定の大きさではない。

【0148】補正値：ある周波数帯の振動を許容レベル以下にするために、通常の制御部211の制御信号に加える補正値の制御信号である。補正値は、周波数帯(周波数帯1～ n)の各々に、プロセス量(例えば、発電電力、大気温度、湿度、各部での燃料流量及び圧力、各部での空気流量及び圧力、燃焼器での燃焼ガス温度、燃焼ガス流量、燃焼ガス圧力、圧縮機やタービンの回転数など)に基づいて、プロセス量の関数値として決定される。すなわち、周波数帯1～ n に対して、補正値の関数
30 f_1 (プロセス量：発電電力、大気温度、湿度、…)～ f_n (プロセス量：発電電力、大気温度、湿度、…)を対応させ、その関数の計算結果を補正値とする。周波数帯によりガスタービンに与える影響が異なることから、関数 $f_1 \sim f_n$ は、各周波数帯の各々について必ずしも同じにはならない。また、それに伴い、用いるプロセス量の種類も、必ずしも同じにはならない。

【0149】関数 $f_1 \sim f_n$ は、ガスタービン2の構造及び使用する材料、運転条件などにより、様々に変わる。そのため、各ガスタービン毎に、設計(構造、材料など)及び試験運転時のデータ、過去の同タイプのガスタービンのデータなどから決定される。

【0150】なお、しきい値については、各周波数帯(周波数帯1～ n)の各々について、一つである必要はない。すなわち、複数のしきい値を用意し、しきい値毎に危険レベルを設定する。そして、危険レベル毎に制御部211での対応を変える。それにより、しきい値レベルに応じて、運転状況を解除に変更でき、ガスタービン
50

2への負担が軽減される。例えば、しきい値を2つ設け、危険レベルを2つ設定する。そして、最初のしきい値(すなわち危険レベル1)の場合には、補正値を小さくし、二番目のしきい値(すなわち危険レベル2)の場合には、アラームを発すると共に、補正値を大きくする。

【0151】その例を示しているのが、図3である。図3においては、各周波数帯(周波数帯1～ n)に対して、しきい値が2個ずつ設定されている。例えば、周波数帯1については、 α_{11} 及び、 α_{12} である。そして、それぞれのしきい値に対して、補正値 f_{11} (プロセス量)、 f_{12} (プロセス量)を対応させる。こうすることにより、振動の強度が大きくなった(しきい値を超えた)場合でも、急激な運転条件の変更を行わずに振動の抑制に対応することが可能である。すなわち、ガスタービン2により負担の少ない、振動の抑制が可能となる。

【0152】また、図2(b)に示すように、しきい値を超えたか否かの判定が、単一のしきい値のみとの比較に基づいて行われるのではなく、所定の条件式を満たすか否かに基づいて行われることができる。図33を参照して説明したように、設定値比較部25にてしきい値 α_1 を超えれば、異常周波数帯と検出され、あるいは、設定値比較部25にてしきい値 α_1 を超えなくても、設定値比較部27にてしきい値 α_{101} を超えるか、設定値比較部29にてしきい値 α_{201} を超えれば、異常周波数帯と検出される。

【0153】なお、図2(a)、(b)又は図3に示すようなデータは、制御する部位(メイン燃料流量調整部5、パイロット燃料流量調整部6、バイパス空気流量調整部7、入口案内翼調整部8)及びそれらの各構成(各弁)の各々について作成する。本実施形態では、パイロット燃料流量調整部6向けに作成する。

【0154】また、図2(a)、(b)又は図3に示すようなデータは、圧力振動のみを用いてもよいし、加速度振動のみを用いてもよいし、圧力振動及び加速度振動の両方を用いてもよい。

【0155】次に、ガスタービン2の運転時に、補正量を決定し、パイロット燃料流量を制御する方法について、図1、図2(a)及び図12を参照して説明する。

【0156】①各運転前の段階(図12、開始の段階)で、図2(a)(又は、図2(b)、図3)に示すようなデータを準備する。準備方法は、既述の通りである。なお、このデータは、補正量決定部222内の異常周波数帯検知部250に保存される。

【0157】②次に、実際のガスタービン2の運転において、圧力変動測定部9及び加速度測定部10は、燃焼器111(－1～ m)での燃焼ガスの圧力変動及び燃焼器111(－1～ m)の加速度を測定する。そして、予め定められた時間毎に、それらの測定値が周波数解析部

212へ出力される。出力されたデータは、ガスタービン制御部3の周波数解析部212により受信される(図12、ステップS1)。

【0158】③ガスタービン制御部3の周波数解析部212は、測定値について、上述した、局所高速フーリエ変換(LFFT)の手法により周波数分析を行なう。そして、図14に例示されるような周波数と振動強度(レベル)との関係を示すデータを得る。しかる後、そのデータを、予め設定された周波数帯に分割する(図12、ステップS2)。そうして得られた結果を、補正量決定部222の異常周波数帯検知部250へ出力する。

【0159】④異常周波数帯検知部250では、周波数解析部212で得られた周波数帯1~nの各々の結果を、図2(a)、(b)又は図3に示すデータ中の周波数帯1~nの各々のしきい値 α と比較する。そして、振動の強度が、しきい値 α を超えていない場合には、補正值=0と決定する。振動の強度が、しきい値 α を超えている場合、その周波数帯は異常周波数帯であると検出する。異常周波数帯検知部250にて異常周波数帯が検出されると、補正量決定部222は、制御部211から出力されるプロセス量の値に基づいて、関数 f を計算して補正值を決定する(図12、ステップS3)。決定した補正值は、加算部223へ出力する。

【0160】⑤ガスタービン制御部3の加算部223では、補正量決定部222から出力される補正值と、制御部211から出力されるパイロット燃料流量調整部6を制御する制御信号とを加えて、新たにパイロット燃料流量調整部6を制御する制御信号として決定する(図12、ステップS4)。

【0161】⑥ガスタービン制御部3の決定したパイロット燃料流量調整部6を制御する制御信号は、パイロット燃料流量調整部6へ出力する(図12、ステップS5)。

【0162】⑦パイロット燃料流量調整部6では、加算部223から出力された制御信号に基づいて、然るべきパイロット燃料供給弁116(-1~m)又は、パイロット燃料流量制御弁114を操作する。

【0163】なお、上記①~⑦のステップは、ガスタービン2の運転中、予め設定した時間毎に継続して行なわれる。

【0164】加算部223からの出力による制御状況の例を、図13に示す。これは、補正值 f_P (プロセス量)とパイロット燃料供給弁の開度との関係を示す図である。縦軸は、パイロット燃料供給弁(116)開度、横軸は、ある周波数帯Pの補正值 f_P (プロセス量: MW、大気温度、...)である。また、 Q_0 は、補正值が無い場合での、制御部211によるパイロット燃料供給弁116の開度を示す。この図から、補正值 f_P により、パイロット燃料供給弁116の開度が、補正されている。また、その補正量は、プロセス量の値により変化する

る補正值 f_P に基づいて変化していることがわかる。

【0165】なお、図13では、補正值 f_P (プロセス量)により、弁の開度が増加しているが、必ずしも増加する必要はない。装置の構成や、周波数帯により、減少させるようにしてもよい。

【0166】なお、他のメイン燃料流量、バイパス空気流量、入口案内翼による導入空気量の制御に関しては、予め設定した値になるように、フィードフォワード制御、フィードバック制御、PID制御などにより制御する。

【0167】本実施形態により、パイロット燃料流量をガスタービン2で発生する圧力及び加速度の振動に対応して制御でき、圧力及び加速度の振動を抑制することが出来る。特に、LFFTを用いて周波数解析を行うので、燃焼振動の予兆を早期に検知し、メイン燃料火炎の燃焼安定性を維持することができる。

【0168】本実施形態によれば、パイロット燃料流量を調整することにより、燃焼振動の予兆を早期に検知し、メイン燃焼火炎の燃焼安定性を維持することができる。

【0169】(第2実施形態)次に、上記ガスタービン2を有する本発明のガスタービン制御装置及びガスタービンシステムの第2の実施の形態について、図面を参照して説明する。

【0170】図4は、本発明であるガスタービン制御装置及びガスタービンシステムの第2実施形態を示すブロック図である。ガスタービンシステム1は、ガスタービン2とガスタービン制御装置としてのガスタービン制御部3とを具備する。

【0171】ガスタービン2は、プロセス量計測部4、メイン燃料流量調整部5、パイロット燃料流量調整部6、バイパス空気流量調整部7、入口案内翼調整部8、圧力変動測定部9及び加速度測定部10を有する。

【0172】一方、ガスタービン制御部3は、制御部211、周波数解析部212、及び、補正部としてのバイパス空気補正部224を有する。バイパス空気補正部224は、補正量決定部225と加算部226とを有する。補正量決定部225は、異常周波数帯検知部250を有する。

【0173】本実施形態では、ガスタービン2における圧力及び加速度の振動に対応して、パイロット燃料流量ではなく、バイパス空気流量の制御に補正量を導入する点が第1実施形態と異なる。すなわち、第2実施形態では、燃焼により発生する圧力及び加速度の振動を把握し、その内容を周波数分析(周波数解析部212)し、バイパス空気の流量調整の補正值を決定(バイパス空気補正部224)し、バイパス空気流量調整部7へ出力し、圧力の振動を抑制する。

【0174】すなわち、ガスタービン制御部3は、ガスタービン2で発生する燃焼振動を把握する。そして、そ

の周波数特性に応じて適切にガスタービン2の運転を制御（本実施形態では、特にバイパス空気流量を適宜、振動状態に応じて変更）し、燃焼振動を抑制することが可能となる。

【0175】図4の各部について説明する。ガスタービン2は、第1実施形態で説明したものと同様であるので、その説明を省略する。

【0176】一方、ガスタービン制御部3は、ガスタービン2で計測されたプロセス量や圧力、加速度のデータに基づいてガスタービン2を制御し、ガスタービン2において燃焼振動が発生しないようにする。

【0177】制御部211は、ガスタービン2で計測されたプロセス量に基づいて、メイン燃料流量調整部5、パイロット燃料流量調整部6及び入口案内翼調整部8を制御信号を出力して制御する。また、通常のバイパス空気流量調整部7を制御する信号を、バイパス空気補正部224（後述）へ出力し、バイパス空気補正部224によるバイパス空気流量調整部7の制御を補佐する。メイン燃料流量調整部5、パイロット燃料流量調整部6及び入口案内翼調整部8の制御は、フィードフォワード法による制御、フィードバック法による制御、PID法による制御などで行なう。

【0178】周波数解析部212は、分析結果を、バイパス空気補正部224に出力する以外は実施形態1と同様である。

【0179】補正部としての、バイパス空気補正部224は、圧力又は加速度の周波数帯別分析結果とプロセス量とに基づいて、補正量を算出する。そして、制御部211からのバイパス空気流量調整部7を制御する制御信号にその補正量を加えて、バイパス空気流量調整部7へ出力する。制御部211に含まれていてもよい。

【0180】補正量決定部225は、周波数解析部212からの圧力又は加速度の周波数帯別分析結果と、制御部211からのプロセス量とに基づいて、自身が有する補正量決定表（図2、図3など）から、バイパス空気流量調整部7を制御する制御信号に対する補正量を決定する。決定した補正量は、加算部226へ出力する。

【0181】加算部226は、制御部211からのバイパス空気流量調整部7を制御する制御信号に、補正量決定部225で決定された補正量を加えて、バイパス空気流量調整部7を制御する制御信号として、バイパス空気流量調整部7へ出力する。

【0182】次に、第2の実施形態の動作について、図面を参照して説明する。

【0183】ここで、ガスタービン運転時の制御に使用する補正の基礎となる補正量データ（図2（a）、

（b）又は図3のようなデータ）の決定方法については、実施形態1と同様であるので、その説明を省略する。

【0184】なお、図2（a）、（b）又は図3に示す

ようなデータは、制御する部位（メイン燃料流量調整部5、パイロット燃料流量調整部6、バイパス空気流量調整部7、入口案内翼調整部8）及びそれらの各構成（各弁）の各々について作成する。本実施形態では、バイパス空気流量調整部7向けに作成する。

【0185】また、図2（a）、（b）又は図3に示すようなデータは、圧力振動のみを用いてもよいし、加速度振動のみを用いてもよいし、圧力振動及び加速度振動の両方を用いてもよい。

【0186】次に、ガスタービン2の運転時に、補正量を決定し、バイパス空気流量を制御する方法について、図4、図2（a）及び図12を参照して説明する。

【0187】①各運転前の段階（図12、開始の段階）で、図2（a）（又は図2（b）、図3）に示すようなデータを準備する。準備方法は、既述の通りである。なお、このデータは、補正量決定部225内の異常周波数帯検知部250に保存される。

【0188】②次に、実際のガスタービン2の運転において、圧力変動測定部9及び加速度測定部10は、燃焼器111（-1～m）での燃焼ガスの圧力変動及び燃焼器111（-1～m）の加速度を測定する。そして、予め定められた時間毎に、それらの測定値が周波数解析部212へ出力される。出力されたデータは、ガスタービン制御部3の周波数解析部212により受信される（図12、ステップS1）。

【0189】③ガスタービン制御部3の周波数解析部212は、測定値について、LFFTによる周波数分析を行なう。そして、図14に例示されるような周波数と振動強度（レベル）との関係を示すデータを得る。しかる後、そのデータを、予め設定された周波数帯に分割する（図12、ステップS2）。そうして得られた結果を、補正量決定部225の異常周波数帯検知部250へ出力する。

【0190】④異常周波数帯検知部250では、周波数解析部212で得られた周波数帯1～nの各々の結果を、図示しない記憶部に保持された図2（a）、（b）又は図3に示すデータ中の周波数帯1～nの各々のしきい値 α と比較する。そして、振動の強度が、しきい値 α を超えていない場合には、補正值＝0と決定する。振動の強度が、しきい値 α を超えている場合、その周波数帯は異常周波数帯であると検出する。異常周波数帯検知部250にて異常周波数帯が検出されると、補正量決定部222は、制御部211から出力されるプロセス量の値に基づいて、関数fを計算して補正值を決定する（図12、ステップS3）。決定した補正值は、加算部226へ出力する。

【0191】⑤ガスタービン制御部3の加算部226では、補正量決定部225から出力される補正值と、制御部211から出力されるバイパス空気流量調整部7を制御する制御信号とを加えて、新たにバイパス空気流量調

整部7を制御する制御信号として決定する(図12、ステップS4)。

【0192】⑥ガスタービン制御部3の決定したバイパス空気流量調整部7を制御する制御信号は、バイパス空気流量調整部7へ出力される(図12、ステップS5)。

【0193】⑦のバイパス空気流量調整部7では、加算部226から出力された制御信号に基づいて、然るべきバイパス弁118(-1~m)を操作する。

【0194】なお、上記①~⑦のステップは、ガスタービン2の運転中、予め設定した時間毎に継続して行なわれる。

【0195】なお、他のメイン燃料流量、パイロット燃料流量、入口案内翼による導入空気量の制御に関しては、予め設定した値になるように、フィードフォワード制御、フィードバック制御、PID制御などにより制御する。

【0196】本実施形態により、バイパス空気流量をガスタービン2で発生する圧力及び加速度の振動に対応して制御でき、圧力及び加速度の振動を抑制することが出来る。特に、LFFTを用いて周波数解析を行うので、燃焼振動の予兆を早期に検知し、計画されたNOx量以下で燃焼安定性を維持することができる。

【0197】(実施形態3)次に、上記ガスタービン2を有する本発明のガスタービン制御装置及びガスタービンシステムの第3の実施の形態について、図面を参照して説明する。

【0198】図5は、本発明であるガスタービン制御装置及びガスタービンシステムの実施形態を示すブロック図である。ガスタービンシステム1は、ガスタービン2とガスタービン制御装置としてのガスタービン制御部3とを具備する。

【0199】ガスタービン2は、プロセス量計測部4、メイン燃料流量調整部5、パイロット燃料流量調整部6、バイパス空気流量調整部7、入口案内翼調整部8、圧力変動測定部9及び加速度測定部10を有する。

【0200】一方、ガスタービン制御部3は、制御部211、周波数解析部212、及び、入口案内翼補正部227を有する。入口案内翼補正部227は、補正量決定部228と加算部229とを有する。補正量決定部228は、異常周波数帯検知部250を有する。

【0201】本発明の本実施形態では、ガスタービン2における圧力及び加速度の振動に対応して、パイロット燃料流量やバイパス空気流量ではなく、入口案内翼102の制御すなわち圧縮機101に導入する空気の制御に、補正量を導入する点が実施形態1及び実施形態2と異なる。すなわち、本実施形態では、燃焼により発生する圧力及び加速度の振動を把握し、その内容を周波数解析(周波数解析部212)し、入口案内翼102の制御すなわち圧縮機101に導入する空気の流量調整の補正

値を決定(入口案内翼補正部227)し、入口案内翼調整部8へ出力し、圧力の振動を抑制する。

【0202】すなわち、ガスタービン制御部3は、ガスタービン2で発生する燃焼振動を把握する。そして、その周波数特性に応じて適切にガスタービン2の運転を制御(本実施形態では、特に入口案内翼の状態を適宜、振動状態に応じて変更)し、燃焼振動を抑制することが可能となる。

【0203】図5の各部について説明する。ガスタービン2は、実施形態1で説明したものと同様であるので、その説明を省略する。

【0204】一方、ガスタービン制御部3は、ガスタービン2で計測されたプロセス量や圧力、加速度のデータに基づいてガスタービン2を制御し、ガスタービン2において燃焼振動が発生しないようにする。

【0205】制御部211は、ガスタービン2で計測されたプロセス量に基づいて、メイン燃料流量調整部5、パイロット燃料流量調整部6及びバイパス空気流量調整部7の制御信号を出力して制御する。また、通常の入案内翼調整部8を制御する信号を、入口案内翼補正部227(後述)へ出力し、入口案内翼補正部227による入口案内翼調整部8の制御を補佐する。メイン燃料流量調整部5、パイロット燃料流量調整部6及びバイパス空気流量調整部7の制御は、フィードフォワード法による制御、フィードバック法による制御、PID法による制御などで行なう。

【0206】周波数解析部212は、分析結果を、入口案内翼補正部227に出力する以外は実施例1と同様である。

【0207】入口案内翼補正部227は、圧力又は加速度の周波数帯別分析結果とプロセス量に基づいて、補正量を算出する。そして、制御部211からの入口案内翼調整部8を制御する信号にその補正量を加えて、入口案内翼調整部8へ出力する。制御部211に含まれていてもよい。

【0208】補正量決定部228は、周波数解析部212からの圧力又は加速度の周波数帯別分析結果と、制御部211からのプロセス量とに基づいて、自身が有する補正量決定表(図2(a)、(b)、図3など)から、入口案内翼調整部8を制御する制御信号に対する補正量を決定する。決定した補正量は、加算部229へ出力する。

【0209】加算部229は、制御部211からの入口案内翼調整部8を制御する制御信号に、補正量決定部228で決定された補正量を加えて、入口案内翼調整部8を制御する制御信号として、入口案内翼調整部8へ出力する。

【0210】次に、本発明のガスタービン制御装置及びガスタービンシステムの実施の形態3の動作について、図面を参照して説明する。

【0211】ここで、ガスタービン運転時の制御に使用する補正の基礎となる補正量データ（図2（a）、（b）又は図3のようなデータ）の決定方法については、実施形態1と同様であるので、その説明を省略する。

【0212】なお、図2（a）、（b）又は図3に示すようなデータは、制御する部位（メイン燃料流量調整部5、パイロット燃料流量調整部6、バイパス空気流量調整部7、入口案内翼調整部8）及びそれらの各構成（各弁）の各々について作成する。本実施形態では、入口案内翼調整部8向けに作成する。

【0213】また、図2（a）、（b）又は図3に示すようなデータは、圧力振動のみを用いてもよいし、加速度振動のみを用いてもよいし、圧力振動及び加速度振動の両方を用いてもよい。

【0214】次に、ガスタービン2の運転時に、補正量を決定し、入口案内翼を制御する方法について、図5、図2（a）、（b）及び図12を参照して説明する。

【0215】①各運転前の段階（図12、開始の段階）で、図2（a）（又は図2（b）、図3）に示すようなデータを準備する。準備方法は、既述の通りである。なお、このデータは、補正量決定部228内の異常周波数帯検知部250に保存される。

【0216】②次に、実際のガスタービン2の運転において、圧力変動測定部9及び加速度測定部10は、燃焼器111（-1〜m）での燃焼ガスの圧力変動及び燃焼器111（-1〜m）の加速度を測定する。そして、予め定められた時間毎に、それらの測定値が周波数解析部212へ出力される。出力されたデータは、ガスタービン制御部3の周波数解析部212により受信される（図12、ステップS1）。

【0217】③ガスタービン制御部3の周波数解析部212は、測定値について、LFFTにより周波数分析を行なう。そして、図14に例示されるような周波数と振動強度（レベル）との関係を示すデータを得る。しかる後、そのデータを、予め設定された周波数帯に分割する（図12、ステップS2）。そうして得られた結果を、補正量決定部228の異常周波数帯検知部250へ出力する。

【0218】④異常周波数帯検知部250では、周波数解析部212で得られた周波数帯1〜nの各々の結果を、図2（a）、（b）又は図3に示すデータ中の周波数帯1〜nの各々のしきい値 α と比較する。そして、振動の強度が、しきい値 α を超えていない場合には、補正値=0と決定する。振動の強度が、しきい値 α を超えている場合、その周波数帯は、異常周波数帯であると検知する。異常周波数帯検知部250にて異常周波数帯が検出されると、補正量決定部228は、制御部211から出力されるプロセス量の値に基づいて、関数 f を計算して補正値を決定する（図12、ステップS3）。決定し

た補正値は、加算部229へ出力する。

【0219】⑤ガスタービン制御部3の加算部229では、補正量決定部228から出力される補正値と、制御部211から出力される入口案内翼調整部8を制御する制御信号とを加えて、新たに入口案内翼調整部8を制御する制御信号として決定する（図12、ステップS4）。

【0220】⑥ガスタービン制御部3の決定した入口案内翼調整部8を制御する制御信号は、入口案内翼調整部8へ出力される（図12、ステップS5）。

【0221】⑦入口案内翼調整部8では、加算部226から出力された制御信号に基づいて、入口案内翼102を操作する。

【0222】なお、上記①〜⑦のステップは、ガスタービン2の運転中、予め設定した時間毎に継続して行なわれる。

【0223】なお、他のメイン燃料流量、パイロット燃料流量、バイパス空気流量の制御に関しては、予め設定した値になるように、フィードフォワード制御、フィードバック制御、PID制御などにより制御する。

【0224】本実施形態により、入口案内翼102により制御される空気の流量をガスタービン2で発生する圧力及び加速度の振動に対応して制御でき、圧力及び加速度の振動を抑制することが出来る。特に、燃焼振動の予兆を早期に検知し、計画通りの燃焼状態を保ち燃焼安定性を維持することができる。

【0225】（実施形態4）次に、上記ガスタービン2を有する本発明のガスタービン制御装置及びガスタービンシステムの第4の実施の形態について、図面を参照して説明する。

【0226】図6は、本発明であるガスタービン制御装置及びガスタービンシステムの実施形態4を示すブロック図である。ガスタービンシステム1は、ガスタービン2とガスタービン制御装置としてのガスタービン制御部3とを具備する。

【0227】ガスタービン2は、プロセス量計測部4、メイン燃料流量調整部5、パイロット燃料流量調整部6、バイパス空気流量調整部7、入口案内翼調整部8、圧力変動測定部9及び加速度測定部10を有する。

【0228】一方、ガスタービン制御部3は、制御部211、周波数解析部212、データベース215及び、補正量決定部231と加算部223と加算部226と加算部229と加算部232とを有する補正部としての全補正部230を有する。補正量決定部231は、異常周波数帯検知部250を有する。

【0229】本実施形態では、ガスタービン2における圧力及び加速度の振動に対応して、メイン燃料流量、パイロット燃料流量、バイパス空気流量及び入口案内翼102の4つの制御に、補正量を導入する点が実施形態1〜実施形態3と異なる。

【0230】また、図15に示すように、データベース215には、新規のガスタービン2における、振動強度と、第2燃料流量としてのメイン燃料流量及びパイロット燃料流量、第2空気流量としてのバイパス空気流量及び入口案内翼102からの空気流量との関係のデータを有している。

【0231】即ち、データベース215には、劣化していない新規の(New&Clean時の)ガスタービン2の燃焼振動及びその予兆に関するデータとして、「制御(操作)量(例えば、メイン燃料流量)Xの流量が流量帯 a_1 に含まれているときに発生する振動は、その周波数帯1、2...nの振動強度がそれぞれ A_{11} 、 A_{21} ... A_{n1} の振動であり、その流量が流量帯 a_2 に含まれているときに発生する振動は、その周波数帯1、2...nの振動強度がそれぞれ A_{12} 、 A_{22} ... A_{n2} の振動であり、...その流量が流量帯 a_L に含まれているときに発生する振動は、その周波数帯1、2...nの振動強度がそれぞれ A_{1L} 、 A_{2L} ... A_{nL} の振動である」というデータを有している。データベース215には、その制御量Xが、メイン燃料流量、パイロット燃料流量、バイパス空気流量及び入口案内翼102からの空気流量のそれぞれについての上記データが格納されている。

【0232】データベース215には、上記データが格納されているため、ガスタービン2に供給される制御量Xの流量が、流量帯 a_1 に入っているときと、流量帯 a_2 に入っているときとで、いずれの流量帯のときに発生する振動が大きいかを読み取ることができる。ここでは、「流量帯 a_2 よりも流量帯 a_1 のときに発生する振動の方が小さい」旨がデータベース215から読み取れるとする。

【0233】そして、データベース215に格納された新規のガスタービン2のデータと、実際に運転中の(劣化している可能性のある)ガスタービン(実機)2のデータとを、同じ制御量X毎に、振動強度を比較する。

【0234】その振動強度の比較を行う際の単位は、実機2にて実際に検出された全周波数帯1、2...nの振動強度と、データベース215に格納された各流量帯 a_1 、 a_2 ... a_L の全周波数帯1、2...nの振動強度 A_{1L} 、 A_{2L} ... A_{nL} である。それら全周波数帯1、2...nの振動強度同士を比較した結果、実機2の全周波数帯1、2...nの振動強度に対して、最も傾向が近い(相関・類似度が高い)、データベース215の全周波数帯1、2...nの振動強度 A_{1L} 、 A_{2L} ... A_{nL} の流量帯が a_1 、 a_2 ... a_L のいずれであるかを探す。

【0235】ここでは、実機2から検出された振動の値が、「実機2が、実機2に供給される制御量Xの流量を、流量帯 a_1 に入るある値に制御している時」に検出されたものであるとする。

【0236】ところが、その実機2から検出された振動の値は、データベース215との上記比較を行った結

果、データベース215上の「流量帯 a_2 のときの振動強度 A_{12} 、 A_{22} ... A_{n2} 」に最も類似していたとする。

【0237】その比較結果から、実機2に実際に供給されていた制御量Xは、流量帯 a_2 に入る値であったことが分かる。即ち、実機2の劣化等により実際には、実機2の制御値である流量帯 a_1 の流量は実機2に供給されておらず、流量帯 a_2 の流量が実機2に供給されていたことが判明する。

【0238】そこで、上記した、データベース215から読み取れる「流量帯 a_2 よりも流量帯 a_1 のときに発生する振動の方が小さい」というデータに基づいて、実機2に実際に供給されている流量を、流量帯 a_2 から流量帯 a_1 に変化させるための補正を行う。

【0239】上記のように、データベース215を用いて、実機2の状態が新規のガスタービン2におけるどの状態であるかを判断する。そして、その判断に基づいて、流量の較正を行ない、補正量を調整する点もまた実施形態1～実施形態3と異なる。

【0240】すなわち、ガスタービン制御部3は、ガスタービン2で発生する燃焼振動を把握する。そして、その周波数特性に応じて適切にガスタービン2の運転を制御(本実施形態では、メイン燃料流量、パイロット燃料流量、バイパス空気流量、入口案内翼の状態を適宜、振動状態に応じて変更)し、加えて、経年変化等の影響を補正して、燃焼振動を抑制することが可能となる。

【0241】図6の各部について説明する。ガスタービン2は、実施形態1で説明したものと同様であるので、その説明を省略する。

【0242】一方、ガスタービン制御部3は、ガスタービン2で計測されたプロセス量や圧力、加速度のデータに基づいてガスタービン2を制御し、ガスタービン2において燃焼振動が発生しないようにする。

【0243】制御部211は、ガスタービン2で計測されたプロセス量に基づいて、メイン燃料流量調整部5、パイロット燃料流量調整部6、バイパス空気流量調整部7及び入口案内翼調整部8を制御する制御信号を、全補正部230(後述)へ出力し、全補正部230によるメイン燃料流量調整部5、パイロット燃料流量調整部6、バイパス空気流量調整部7及び入口案内翼調整部8への制御を補佐する。

【0244】周波数解析部212は、分析結果を、全補正部230に出力する以外は実施形態1と同様である。

【0245】データベース215は、新規のガスタービン2における、振動強度と、メイン燃料流量、パイロット燃料流量、バイパス空気流量及び入口案内翼102からの空気流量との関係のデータ(運転情報データともいう)を有している。そのデータについて、図15を参照して説明する。

【0246】図15において、周波数帯1～nは、図2

(a) (又は図2(b)、図3)において説明した周波数帯と同様である。制御量Xは、第2燃料流量としてのメイン燃料流量及びパイロット燃料流量、第2空気流量としてのバイパス空気流量及び入口案内翼102からの空気流量のいずれか一つを表している。図15の表で示されるデータは、上記4種類の燃料及び空気(メイン燃料、パイロット燃料、バイパス空気及び入口案内翼102からの空気、以下同じ)に対して存在する。流量帯 a_1 、 a_2 、…、 a_L は、燃料又は空気の流量の範囲を示す。例えば、 $0 \leq a_1 < 5 \text{ Nm}^3/\text{min}$ 、 $5 \leq a_2 < 10 \text{ Nm}^3/\text{min}$ 、…、 $45 \leq a_L < 50 \text{ Nm}^3/\text{min}$ などである。新規周波数帯別分析結果としての振動強度は、ある流量帯の運転状態において、ある周波数帯の振動の強度を表している。例えば、流量帯 a_2 の運転状態において、周波数帯2の振動の強度は、 A_{22} で示す値となる。この振動強度には、具体的な数値が入る。

【0247】図15のデータベース215に格納される数値データは、新規のガスタービン2の設計時のデータ、試運転時のデータ等に基づいて決定される。そして、上記4種類の燃料及び空気に対して、1種類を変化させ、他の3種類の流量を固定した図15のようなデータが作成される。また、他の3種類の流量の固定は、複数の値において行なわれ、その組み合わせにおいて、運転条件を全て網羅できるようにすることが望ましい。

【0248】補正部としての全補正部230は、圧力又は加速度の周波数帯別分析結果とプロセス量に基づいて、補正量を算出する。そして、制御部211からのメイン燃料流量調整部5、パイロット燃料流量調整部6、バイパス空気流量調整部7及び入口案内翼調整部8を制御する制御信号にその補正量を加えて、各部へ出力する。制御部211に含まれていてもよい。

【0249】補正量決定部231は、周波数解析部212からの圧力又は加速度の周波数帯別分析結果と、データベース215の有する4種類の燃料及び空気での振動強度データとから、現状のガスタービン2の運転状態を新規のガスタービン2に当てはめる。すなわち、図15で例示されるデータとの一致を調べる。そして、その結果に基づいて、その新規のガスタービン2用に設定された自身が有する補正量決定表(図2(a)、(b)、図3など)から、メイン燃料流量調整部5、パイロット燃料流量調整部6、バイパス空気流量調整部7及び入口案内翼調整部8を制御する信号に対する補正量を決定する。決定した補正量は、加算部223、加算部226、加算部229及び加算部232へ出力する。

【0250】加算部223、加算部226、加算部229及び加算部232は、制御部211からのメイン燃料流量調整部5、パイロット燃料流量調整部6、バイパス空気流量調整部7及び入口案内翼調整部8を制御する制御信号に、補正量決定部231で決定された補正量を加

えて、メイン燃料流量調整部5、パイロット燃料流量調整部6、バイパス空気流量調整部7及び入口案内翼調整部8を制御する制御信号として、メイン燃料流量調整部5、パイロット燃料流量調整部6、バイパス空気流量調整部7及び入口案内翼調整部8へ出力する。

【0251】次に、本発明のガスタービン制御装置及びガスタービンシステムの実施の形態4の動作について、図面を参照して説明する。

【0252】ここで、ガスタービン運転時の制御に使用する補正の基礎となる補正量データ(図2(a)、(b)又は図3のようなデータ)の決定方法については、新規のガスタービン2について行なわれること以外は、実施形態1と同様であるので、その説明を省略する。ただし、実施形態1においても、新規のガスタービン2について行なわれることもある。

【0253】なお、図2(a)、(b)又は図3に示すようなデータは、制御する部位(メイン燃料流量調整部5、パイロット燃料流量調整部6、バイパス空気流量調整部7、入口案内翼調整部8)及びそれらの各構成(各弁)の各々について作成する。本実施形態では、上記全ての制御する部位向けに作成する。

【0254】また、図2(a)、(b)又は図3に示すようなデータは、圧力振動のみを用いてもよいし、加速度振動のみを用いてもよいし、圧力振動及び加速度振動の両方を用いてもよい。

【0255】次に、ガスタービン2の運転時に、補正量を決定し、メイン燃料流量調整部5、パイロット燃料流量調整部6、バイパス空気流量調整部7及び入口案内翼調整部8を制御する方法について、図6、図2(a)、図12及び図15を参照して説明する。

【0256】①各運転前の段階(図12、開始の段階)で、図2(a)(又は図2(b)、図3)及び図15に示すようなデータを準備する。これらは、新規のガスタービン2用に作成される。準備方法は、既述の通りである。なお、このデータは、補正量決定部231内の異常周波数帯検知部250に保存される。

【0257】②次に、実際のガスタービン2の運転において、圧力変動測定部9及び加速度測定部10は、燃焼器111(-1~m)での燃焼ガスの圧力変動及び燃焼器111(-1~m)の加速度を測定する。そして、予め定められた時間毎に、それらの測定値が周波数解析部212へ出力される。出力されたデータは、ガスタービン制御部3の周波数解析部212により受信される(図12、ステップS1)。

【0258】③ガスタービン制御部3の周波数解析部212は、測定値について、LFFTにより周波数分析を行なう。そして、図14に例示されるような周波数と振動強度(レベル)との関係を示すデータを得る。しかる後、そのデータを、予め設定された周波数帯に分割する(図12、ステップS2)。そうして得られた結果を、

補正量決定部231へ出力する。

【0259】④補正量決定部231では、周波数解析部212で得られた各周波数帯(1~n)の振動強度を、図15に例示されるデータ(データベース15に記憶された周波数帯と、メイン燃料、パイロット燃料、バイパス空気及び入口案内翼102からの空気の各流量帯と、振動強度との関係のデータ、以降、運転情報データという)と比較する。そして、各周波数帯の振動強度と、運転情報データとが良好一致を示す場合の運転状態(4種類の燃料及び空気流量)を見出す。ここで、良好一致とは、例えば、振動強度の相違が±10%以内の場合などである。

【0260】続いて、見出された運転状態(4種類の燃料及び空気流量)と、実際に運転しているガスタービン2の4種類の燃料及び空気流量とを比較して、その差分を計算する。そして、その差分が許容範囲内(例えば±2%以内)であるならば、特別な対応は行なわない。

【0261】その場合には、異常周波数帯検知部250では、図2(a)、(b)又は図3に示すデータ中の周波数帯1~nの各々のしきい値 α と比較する。そして、振動の強度が、しきい値 α を超えていない場合には、補正値=0と決定する。振動の強度が、しきい値 α を超えている場合、その周波数帯は異常周波数帯であると検出する。異常周波数帯検知部250にて異常周波数帯が検出されると、補正量決定部231は、制御部211から出力されるプロセス量(例えば、発電電力、大気温度、湿度、各部での燃料流量及び圧力、各部での空気流量及び圧力、燃焼器での燃焼ガス温度、燃焼ガス流量、燃焼ガス圧力、圧縮機やタービンの回転数など)の値に基づいて、関数fを計算して補正値を決定する(図12、ステップS3)。決定した補正値は、加算部223、加算部226、加算部229及び加算部232へ出力する。

【0262】一方、4種類の燃料又は空気流量のいずれかの差分が許容範囲を超えている(例えば±2%を超える)場合であるならば、その流量の差分に基づいて、該当する燃料又は空気流量を較正する。そして、その値を補正量決定部231の図示しない記憶部に記憶する。そして、それ以降の制御に関して、この較正値を用いることとする。また、その較正値を制御部211へ出力し、そこで較正値を用いる用にも可能である。

【0263】その後の工程は、流量が許容範囲を超えていない場合と同様であるので、説明を省略する。

【0264】図2(a)(又は図2(b)、図3)から求められる補正値は、各周波数帯(周波数帯1~n)毎に、プロセス量に基づいて決定されるため、燃料又は空気流量の相違は、補正値のずれを生じさせる。そのため、的確な振動抑制の制御が出来なくなる恐れがある。しかし、上記較正により、経年変化などの原因により、流量の相違が生じても適性に補正値を決定することが可能となる。

【0265】⑤ガスタービン制御部3の加算部223、加算部226、加算部229及び加算部232では、補正量決定部231から出力される補正値と、制御部211から出力されるメイン燃料流量調整部5、パイロット燃料流量調整部6、バイパス空気流量調整部7、入口案内翼調整部8を制御する制御信号とを加えて、新たにメイン燃料流量調整部5、パイロット燃料流量調整部6、バイパス空気流量調整部7、入口案内翼調整部8を制御する制御信号として決定する(図12、ステップS4)。

【0266】⑥ガスタービン制御部3の決定したメイン燃料流量調整部5、パイロット燃料流量調整部6、バイパス空気流量調整部7、入口案内翼調整部8を制御する制御信号は、メイン燃料流量調整部5、パイロット燃料流量調整部6、バイパス空気流量調整部7、入口案内翼調整部8へ出力される(図12、ステップS5)。

【0267】⑦のメイン燃料流量調整部5、パイロット燃料流量調整部6、バイパス空気流量調整部7、入口案内翼調整部8では、加算部226から出力された制御信号に基づいて、然るべきメイン燃料供給弁115(-1~m)又はメイン燃料流量制御弁113、然るべきパイロット燃料供給弁116(-1~m)又はパイロット燃料流量制御弁114、然るべきバイパス弁118(-1~m)、入口案内翼102を操作する。

【0268】なお、上記①~⑦のステップは、ガスタービン2の運転中、予め設定した時間毎に継続して行なわれる。

【0269】本実施形態により、メイン燃料供給弁115(-1~m)、メイン燃料流量制御弁113、パイロット燃料供給弁116(-1~m)、パイロット燃料流量制御弁114、バイパス弁118(-1~m)、入口案内翼102により制御される空気の流量をガスタービン2で発生する圧力及び加速度の振動に対応して制御でき、圧力及び加速度の振動を抑制することが出来る。特に、発生する振動を周波数帯毎に分割して分析し、周波数帯毎に適切に対応を行なうので、効率的且つ適切に燃焼の安定性を向上させることが可能となる。

【0270】また、経年変化などにより、実際の燃料又は空気の流量が、制御部211等の認識と相違する自体が発生しても、データベースのデータを用いることにより、自己較正が可能となる。そして、長期的に安定的に燃焼を継続することが可能となる。データベースを利用することにより、圧縮機、タービン側で種々の経年変化が発生しても燃焼振動の予兆を早期に検知し、燃焼安定性を維持することができる。

【0271】(実施形態5)次に、上記ガスタービン2を有する本発明のガスタービン制御装置及びガスタービンシステムの第5の実施の形態について、図面を参照して説明する。

【0272】図7は、本発明であるガスタービン制御装

置及びガスタービンシステムの実施例を示すブロック図である。ガスタービンシステム1は、ガスタービン2とガスタービン制御装置としてのガスタービン制御部3とを具備する。

【0273】ガスタービン2は、プロセス量計測部4、メイン燃料流量調整部5、パイロット燃料流量調整部6、バイパス空気流量調整部7、入口案内翼調整部8、圧力変動測定部9及び加速度測定部10を有する。

【0274】一方、ガスタービン制御部3は、制御部211、周波数解析部212、試行決定部216及び補正量決定部231と加算部223と加算部226と加算部229と加算部232とを有する補正部としての全補正部233を有する。補正量決定部231は、異常周波数帯検知部250を有する。

【0275】本実施形態では、ガスタービン2における圧力及び加速度の振動に対応して、メイン燃料流量、パイロット燃料流量、バイパス空気流量及び入口案内翼102の4つの制御に、補正量を導入する点が実施形態1～実施形態3と異なる。

【0276】また、運転中のガスタービン2における、運転条件の一部を少しずつ変更し、振動強度と変更した運転条件との関係を求める。そして、複数の運転条件の変更の結果から、最適（振動強度が極小となる）な運転条件を決定する点もまた実施例1～実施形態3と異なる。

【0277】すなわち、ガスタービン制御部3は、ガスタービン2で発生する燃焼振動を把握する。そして、その周波数特性に応じて適切にガスタービン2の運転を制御（本実施形態では、メイン燃料流量、パイロット燃料流量、バイパス空気流量、入口案内翼の状態を適宜、振動状態に応じて変更）し、加えて、燃焼振動が極小となる運転条件を自ら見出し、燃焼振動を抑制することが可能となる。

【0278】図7の各部について説明する。ガスタービン2は、実施形態1で説明したものと同様であるので、その説明を省略する。

【0279】一方、ガスタービン制御部3は、ガスタービン2で計測されたプロセス量や圧力、加速度のデータに基づいてガスタービン2を制御し、ガスタービン2において燃焼振動が発生しないようにする。

【0280】制御部211は、ガスタービン2で計測されたプロセス量に基づいて、メイン燃料流量調整部5、パイロット燃料流量調整部6、バイパス空気流量調整部7及び入口案内翼調整部8を制御する制御信号を、全補正部233（後述）へ出力し、全補正部233によるメイン燃料流量調整部5、パイロット燃料流量調整部6、バイパス空気流量調整部7及び入口案内翼調整部8への制御を補佐する。

【0281】周波数解析部212は、分析結果を、全補正部233に出力する以外は実施形態1と同様である。

【0282】試行点決定部216は、現在運転しているガスタービン2における運転条件（メイン燃料供給弁115（-1～m）、メイン燃料流量制御弁113、パイロット燃料供給弁116（-1～m）、パイロット燃料流量制御弁114、バイパス弁118（-1～m）の弁の開度、入口案内翼102の角度）を変動させて、振動強度が極小となる運転条件を見出すための、運転変更して試行運転を行なう運転条件の決定及び実行を行なう。図8を参照して、運転変更の決定及び実行について説明する。

【0283】図8は、横軸がバイパス弁118（-1～m）の開度、縦軸がパイロット燃料供給弁116（-1～m）の開度を示している。ガスタービン2が、例えば、図8に示す×印の点の条件で運転している場合、図中△で示す運転条件（4点）を試行運転する点とする。実際の運転条件と試行する運転条件との相違幅は、予め設定された幅（例えば、流量の±2%、など）で行なう。試行点決定部216は、相違幅（例えば、±0.01Nm³/min.）を決定し、補正量決定部231へ出力する。

【0284】補正部としての全補正部233は、圧力又は加速度の周波数帯別分析結果とプロセス量と相違幅とに基づいて、補正量を算出する。そして、制御部211からのメイン燃料流量調整部5、パイロット燃料流量調整部6、バイパス空気流量調整部7及び入口案内翼調整部8を制御する制御信号にその補正量を加えて、各部へ出力する。制御部211に含まれていてもよい。

【0285】補正量決定部231は、試行点決定部216からの相違幅を実現する補正值を求め、加算部223、加算部226、加算部229及び加算部232へ出力する。なお、本実施形態において、試行点決定部216による補正を行うときは、実施形態1～実施形態3にあるような周波数解析部212からの周波数分析結果に基づく運転条件の変更は、一時中断とし、試行点決定部216による補正を行わないときは（その補正の有無の切替えが可能となっている）、実施形態1～実施形態3にあるような周波数解析部212からの周波数分析結果に基づく運転条件の変更を実行する。

【0286】加算部223、加算部226、加算部229及び加算部232は、制御部211からのメイン燃料流量調整部5、パイロット燃料流量調整部6、バイパス空気流量調整部7及び入口案内翼調整部8を制御する制御信号に、補正量決定部231で決定された補正量を加えて、メイン燃料流量調整部5、パイロット燃料流量調整部6、バイパス空気流量調整部7及び入口案内翼調整部8を制御する制御信号として、メイン燃料流量調整部5、パイロット燃料流量調整部6、バイパス空気流量調整部7及び入口案内翼調整部8へ出力する。

【0287】次に、本発明のガスタービン制御装置及びガスタービンシステムの実施の形態5の動作について、

図面を参照して説明する。

【0288】(1) 本実施形態では、実施形態1～実施形態3で示すようなガスタービン2の運転が行なわれている。その運転状態は、例えば、図8の×印で示すような条件である(図16、開始の段階)。

【0289】(2) 次に、試行点決定部216は、図8の例では、×印で示す運転条件から少しずれた図8の△印で示すような試行する運転条件(以下、試行点という)を決定する。しかる後、試行点と現状の運転条件との差分(図8の例では、現状の運転条件におけるバイパス弁118及びパイロット燃料供給弁116の開度と、試行点の各弁の開度との差分)を、補正量決定部231へ出力する(図16、ステップS11)。

【0290】(3) 補正量決定部231は、試行点決定部216からの運転条件の差分を、補正量に変換して、決定する(図16、ステップS12)。決定した補正值は、加算部223、加算部226、加算部229及び加算部232へ出力する。

【0291】(4) ガスタービン制御部3の加算部223、加算部226、加算部229及び加算部232では、補正量決定部231から出力される補正值と、制御部211から出力されるメイン燃料流量調整部5、パイロット燃料流量調整部6、バイパス空気流量調整部7、入口案内翼調整部8を制御する制御信号とを加えて、新たにメイン燃料流量調整部5、パイロット燃料流量調整部6、バイパス空気流量調整部7、入口案内翼調整部8を制御する制御信号として決定する(図16、ステップS13)。

【0292】(5) ガスタービン制御部3の決定したメイン燃料流量調整部5、パイロット燃料流量調整部6、バイパス空気流量調整部7、入口案内翼調整部8を制御する制御信号は、メイン燃料流量調整部5、パイロット燃料流量調整部6、バイパス空気流量調整部7、入口案内翼調整部8へ出力される(図16、ステップS14)。

【0293】(6) メイン燃料流量調整部5、パイロット燃料流量調整部6、バイパス空気流量調整部7、入口案内翼調整部8では、加算部226から出力された制御信号に基づいて、然るべきメイン燃料供給弁115(−1〜m)又はメイン燃料流量制御弁113、然るべきパイロット燃料供給弁116(−1〜m)又はパイロット燃料流量制御弁114、然るべきバイパス弁118(−1〜m)、入口案内翼102を操作する。

【0294】その操作の結果、ガスタービン2の運転状態が変化し、振動の強度が変化する。圧力変動測定部9及び加速度測定部10は、燃焼器111(−1〜m)での燃焼ガスの圧力変動及び燃焼器111(−1〜m)の加速度を測定する。そして、それらの測定値が周波数解析部212へ出力される。出力されたデータは、ガスタービン制御部3の周波数解析部212により受信される

(図16、ステップS15)。

【0295】(7) ガスタービン制御部3の周波数解析部212は、測定値について、LFFTにより周波数分析を行なう。そして、図14に例示されるような周波数と振動強度(レベル)との関係を示すデータを得る。しかる後、そのデータを、予め設定された周波数帯に分割する(図16、ステップS16)。そうして得られた結果を、試行点決定部216へ出力する。

【0296】(8) 上記②〜⑦までのプロセスを、試行点の数だけ繰り返す(図16、ステップS17)。

【0297】(9) 全ての試行点における運転及び周波数解析が終了した後、試行点決定部216において、最適運転点を決定する。図9を参照して、最適運転点の決定方法について説明する。

【0298】図9において、横軸は、バイパス弁118(−1〜m)の開度であり、縦軸は、周波数解析により得られる振動強度である。図中×印は、ガスタービン2の試行点運転前の初期の運転条件での振動強度である。また、△印は、試行点の運転条件での振動強度である。そして、△印間を結ぶ曲線は、△印及び×印の点の測定値に基づいて予測した曲面を示したものである。この時、他の運転条件から決定されるバイパス弁118(−1〜m)の開度の変更範囲の制限と、図9で例示される試行結果とから、○印のような最適点が決定される(図16、ステップS18)。最終的に、決定された最適点になるように、運転条件が補正される。

【0299】本実施形態により、ガスタービン制御装置が自ら、振動が少ない運転条件を試行により見出すので、振動の抑制された安定した燃焼の運転が可能となる。そして、ガスタービンの長寿命化や、メンテナンスコストの低減等を図ることが出来る。

【0300】また、経年変化などにより、実際の燃料又は空気の流量が、制御部211等の認識と相違する自体が発生しても、試行運転により最適な運転点を見出して、運転条件を改定するので、経年変化の影響を受け難い。最適な操作量を自動的に探索することにより、如何なる経年変化が発生しても燃焼振動の予兆を早期に検知し、燃焼安定性を維持することができる。

【0301】(実施形態6) 次に、上記ガスタービン2を有する本発明のガスタービン遠隔監視システムの実施の形態6について、図面を参照して説明する。

【0302】図10は、本発明であるガスタービン遠隔監視システムの実施形態6を示すブロック図である。ガスタービン遠隔監視システムは、ガスタービンシステム1と、遠隔監視部20とを具備する。また、ガスタービンシステム1は、ガスタービン2とガスタービン制御装置としてのガスタービン制御部3とを具備する。

【0303】ガスタービン2は、プロセス量計測部4、メイン燃料流量調整部5、パイロット燃料流量調整部6、バイパス空気流量調整部7、入口案内翼調整部8、

圧力変動測定部9及び加速度測定部10を有する。

【0304】一方、ガスタービン制御部3は、制御部211、周波数解析部212及び通信部217を具備する。そして、遠隔監視部220は、データベース235、全補正部234及び通信部218を具備する。

【0305】本実施形態では、ガスタービン2における圧力及び加速度の振動に対して、遠隔地にある遠隔監視部220が、その対応を行なう点が、実施形態1～実施形態4と異なる。すなわち、まず、ガスタービン2での振動に関わるデータをガスタービン制御部3より通信回線を經由して取得する。全補正部234は、受信した振動データと、データベース235のデータとを参照して、メイン燃料流量、パイロット燃料流量、バイパス空気流量及び入口案内翼102への制御の補正量を算出する。そして、通信回線を介してガスタービン制御部3へ指令を送信することにより、振動を抑制する。

【0306】すなわち、遠隔監視部220は、ガスタービン制御部3からの通信によりガスタービン2で発生する燃焼振動を把握する。そして、その周波数特性に応じて適切にガスタービン2の運転を制御（本実施形態では、メイン燃料流量、パイロット燃料流量、バイパス空気流量、入口案内翼の状態を適宜、振動状態に応じて変更）する信号を発信し、遠隔地から燃焼振動を抑制することが可能となる。

【0307】図10の各部について説明する。ガスタービン2は、実施形態1で説明したものと同様であるので、その説明を省略する。

【0308】一方、ガスタービン制御部3は、ガスタービン2で計測されたプロセス量や圧力、加速度のデータに基づいてガスタービン2を制御し、ガスタービン2において燃焼振動が発生しないようにする。

【0309】制御部211は、ガスタービン2で計測されたプロセス量（運転状況データ）を、通信部217を經由して遠隔監視部220へ送信する。そして、通信部217を介して遠隔監視部220からの制御信号を受信する。内部に、実施形態4における加算部223、加算部226、加算部229及び加算部232の機能を具備し、遠隔監視部220からの制御信号と通常の制御信号とを合成し、メイン燃料流量調整部5、パイロット燃料流量調整部6、バイパス空気流量調整部7及び入口案内翼調整部8を制御する信号とし、メイン燃料流量調整部5、パイロット燃料流量調整部6、バイパス空気流量調整部7及び入口案内翼調整部8へ出力し、それらの制御を実行する。

【0310】周波数解析部212は、分析結果を、通信部217を經由して遠隔監視部220に出力する以外は実施形態1と同様であるので、その説明を省略する。

【0311】通信部217は、制御部211及び周波数解析部212と、ガスタービン制御部3内部にて接続している。また、通信回線（無線通信、有線通信を問わ

い）により、遠隔監視部220と接続している。

【0312】遠隔監視部220は、ガスタービン制御部3からの通信によりガスタービン2で発生する燃焼振動を把握する。そして、その振動の周波数特性に応じて適切にガスタービン2の運転を制御する信号を発信し、燃焼振動を抑制する。一台のガスタービン2専用であるだけでなく、複数のガスタービンに対して共用することが可能であり、監視業務を効率化できる。

【0313】遠隔データベースとしてのデータベース235は、実施形態4のデータベース215と同様であるので、その説明を省略する。

【0314】補正部としての全補正部234は、ガスタービン制御部3からの圧力又は加速度の周波数帯別分析結果及びプロセス量と、データベース235の有する4種類の燃料及び空気での振動強度データとに基づいて、実施形態4と同様の手法で補正量を算出する。そして、制御部211が通常行なうメイン燃料流量調整部5、パイロット燃料流量調整部6、バイパス空気流量調整部7及び入口案内翼調整部8を制御する制御信号に加える補正量をガスタービン制御部3へ向けて通信部218より出力する。全補正部234は、内部に、実施形態4における補正量決定部231の機能を具備する。

【0315】次に、本発明のガスタービン制御装置及びガスタービンシステムの実施の形態6の動作について、図面を参照して説明する。

【0316】ここで、ガスタービン運転時の制御に使用する補正の基礎となる補正量データ（図2（a）、（b）又は図3のようなデータ）の決定方法については、実施形態4と同様であるので、その説明を省略する。

【0317】なお、図2（a）、（b）又は図3に示すようなデータは、制御する部位（メイン燃料流量調整部5、パイロット燃料流量調整部6、バイパス空気流量調整部7、入口案内翼調整部8）及びそれらの各構成（各弁）の各々について作成する。本実施形態では、上記全ての制御する部位向けに作成する。

【0318】また、図2（a）、（b）又は図3に示すようなデータは、圧力振動のみを用いてもよいし、加速度振動のみを用いてもよいし、圧力振動及び加速度振動の両方を用いてもよい。

【0319】次に、ガスタービン2の運転時に、補正量を決定し、メイン燃料流量調整部5、パイロット燃料流量調整部6、バイパス空気流量調整部7及び入口案内翼調整部8を制御する方法について、図10、図2（a）、（b）及び図15を参照して説明する。

【0320】①各運転前の段階で、図2（a）（又は図2（b）、図3）及び図15に示すようなデータを準備する。これらは、新規のガスタービン2用に作成される。準備方法は、既述の通りである。なお、このデータは、全補正部234内の異常周波数帯検知部250に保

存される。

【0321】②次に、実際のガスタービン2の運転において、圧力変動測定部9及び加速度測定部10は、燃焼器111(-1~m)での燃焼ガスの圧力変動及び燃焼器111(-1~m)の加速度を測定する。そして、予め定められた時間毎に、それらの測定値が周波数解析部212へ出力される。出力されたデータは、ガスタービン制御部3の周波数解析部212により受信される。

【0322】③ガスタービン制御部3の周波数解析部212は、測定値について、LFFTにより周波数分析を行なう。そして、図14に例示されるような周波数と振動強度(レベル)との関係を示すデータを得る。しかる後、そのデータを、予め設定された周波数帯に分割する。そうして得られた結果を、通信部217-通信回線経由で、遠隔監視部220へ出力する。

【0323】④遠隔監視部220の全補正部234では、周波数解析部212で得られた各周波数帯(1~n)の振動強度を、図15に例示されるデータ(データベース235に記憶された周波数帯と、メイン燃料、パイロット燃料、バイパス空気及び入口案内翼102からの空気の各流量帯と、振動強度との関係のデータのような運転情報データ)と比較する。そして、各周波数帯の振動強度と、運転情報データとが良好一致を示す運転状態(4種類の燃料及び空気流量)を見出す。ここで、良好一致とは、例えば、振動強度の相違が±10%以内の場合などである。

【0324】続いて、見出された運転状態(4種類の燃料及び空気流量)と、実際に運転しているガスタービン2の4種類の燃料及び空気流量とを比較して、その差分を計算する。そして、その差分が許容範囲内(例えば±2%以内)であるならば、特別な対応は行なわない。

【0325】その場合は、全補正部234では、異常周波数帯検知部250に保持された図2(a)、(b)又は図3に示すデータ中の周波数帯1~nの各々のしきい値 α と比較する。そして、振動の強度が、しきい値 α を超えていない場合には、補正值=0と決定する。振動の強度が、しきい値 α を超えている場合には、異常周波数帯であると検知する。異常周波数帯が検知されると、補正量決定部231は、ガスタービン制御部3から受信したプロセス量(例えば、発電電力、大気温度、湿度、各部での燃料流量及び圧力、各部での空気流量及び圧力、燃焼器での燃焼ガス温度、燃焼ガス流量、燃焼ガス圧力、圧縮機やタービンの回転数など)の値に基づいて、関数fを計算して補正值を決定する。決定した補正值は、通信部218-通信回線を経由してガスタービン制御部3へ出力する。

【0326】また、4種類の燃料又は空気流量のいずれかの差分が許容範囲を超えている(例えば±2%を超える)場合であるならば、その流量の差分に基づいて、該当する燃料又は空気流量を較正する。そして、その値を

全補正部234の図示しない記憶部内に記憶する。そして、それ以降の制御に関して、この較正值を用いることとする。また、その較正值を制御部211へ出力し、そこで較正值を用いるようにすることも可能である。

【0327】その後の工程は、流量が許容範囲を超えていない場合と同様であるので、説明を省略する。

【0328】図2(a)(又は図2(b)、図3)から求められる補正值は、各周波数帯(周波数帯1~n)毎に、プロセス量に基づいて決定されるため、燃料又は空気流量の相違は、補正值のずれを生じさせる。そのため、的確な振動抑制の制御が出来なくなる恐れがある。しかし、上記較正により、経年変化などの原因により、流量の相違が生じても適性に補正值を決定することが可能となる。

【0329】⑤ガスタービン制御部3の制御部211では、全補正部234から出力される補正值と、メイン燃料流量調整部5、パイロット燃料流量調整部6、バイパス空気流量調整部7、入口案内翼調整部8を制御する通常の制御信号とを加えて、新たにメイン燃料流量調整部5、パイロット燃料流量調整部6、バイパス空気流量調整部7、入口案内翼調整部8を制御する制御信号として決定する。

【0330】⑥ガスタービン制御部3の決定したメイン燃料流量調整部5、パイロット燃料流量調整部6、バイパス空気流量調整部7、入口案内翼調整部8を制御する制御信号は、メイン燃料流量調整部5、パイロット燃料流量調整部6、バイパス空気流量調整部7、入口案内翼調整部8へ出力される。

【0331】⑦メイン燃料流量調整部5、パイロット燃料流量調整部6、バイパス空気流量調整部7、入口案内翼調整部8では、制御部211から出力された制御信号に基づいて、然るべきメイン燃料供給弁115(-1~m)又はメイン燃料流量制御弁113、然るべきパイロット燃料供給弁116(-1~m)又はパイロット燃料流量制御弁114、然るべきバイパス弁118(-1~m)、入口案内翼102を操作する。

【0332】なお、上記①~⑦のステップは、ガスタービン2の運転中、予め設定した時間毎に継続して行なわれる。

【0333】本実施形態のガスタービン遠隔監視システムにより、ガスタービン2の運転状況を遠隔地で監視し、燃焼振動の予兆等の発生に対しても遠隔地から対処することが可能となる。そして、遠隔地において、一台のガスタービンだけでなく複数のガスタービンを集中監視して必要に応じて調整するため、多数のプラントの制御系の状態管理が容易となり、監視業務の効率化を図れると共に管理コストを削減することが可能となる。

【0334】以上に述べた説明から分かるように、本実施形態では、以下の21項の技術を開示する。

【0335】(項1)計測した圧力変動や加速度から局

所高速フーリエ変換(LFFT)に基づく周波数分析によりスペクトルを求め、各周波数毎のスペクトルの時間変動に対して不完全微分処理を行った結果が複数に分割した周波数帯の設定レベルを設定時間以上連続して超えた場合に予兆検知と判定する。周波数帯毎にパイロット燃料流量を増減する方向及び量を事前に決定しておく。燃焼が不安定になり燃焼振動の予兆を検知すれば、その周波数帯に応じてパイロット燃料流量を増減するガスタービン制御装置。

【0336】(項2)計測した圧力変動や加速度から高速フーリエ変換(FFT)に基づく周波数分析により求めたスペクトルが複数に分割した周波数帯の設定レベルを設定時間以上連続して超えた場合と、(項1)の検知結果との論理和を求める燃焼振動予兆検知と判定する。周波数帯毎にパイロット燃料流量を増減する方向及び量を事前に決定しておく。燃焼が不安定になり燃焼振動の予兆を検知すれば、その周波数帯に応じてパイロット燃料流量を増減するガスタービン制御装置。

【0337】(項3)

(項1)の不完全微分処理結果のレベル比較に加え、差分による時間変化率が複数に分割した周波数帯の設定レベルを設定時間以上連続して超え、かつ不完全微分処理結果が単独レベル比較よりも低い設定値の設定レベルを設定時間以上連続して超えた場合に兆候検知と判定する。周波数帯毎にパイロット燃料流量を増減する方向及び量を事前に決定しておく。燃焼が不安定になり燃焼振動の予兆を検知すれば、その周波数帯に応じてパイロット燃料流量を増減するガスタービン制御装置。

【0338】(項4)

(項2)の不完全微分処理結果のレベル比較に加え、差分による時間変化率が複数に分割した周波数帯の設定レベルを設定時間以上連続して超え、かつ不完全微分処理結果が単独レベル比較よりも低い設定値の設定レベルを設定時間以上連続して超えた場合に兆候検知と判定する。周波数帯毎にパイロット燃料流量を増減する方向及び量を事前に決定しておく。燃焼が不安定になり燃焼振動の予兆を検知すれば、その周波数帯に応じてパイロット燃料流量を増減するガスタービン制御装置。

【0339】(項5)計測した圧力変動や加速度から局所高速フーリエ変換(LFFT)に基づく周波数分析によりスペクトルを求め、各周波数毎のスペクトルの時間変動に対して不完全微分処理を行った結果が複数に分割した周波数帯の設定レベルを設定時間以上連続して超えた場合に予兆検知と判定する。周波数帯毎に燃焼器に送る空気流量を増減する方向及び量を事前に決定しておく。燃焼が不安定になり燃焼振動の予兆を検知すれば、その周波数帯に応じて燃焼器バイパス弁を調整して燃焼器に送られる空気流量を増減するガスタービン制御装置。

【0340】(項6)計測した圧力変動や加速度から高

速フーリエ変換(FFT)に基づく周波数分析により求めたスペクトルが複数に分割した周波数帯の設定レベルを設定時間以上連続して超えた場合と、(項5)の検知結果との論理和を求める燃焼振動予兆検知と判定する。周波数帯毎に燃焼器に送る空気流量を増減する方向及び量を事前に決定しておく。燃焼が不安定になり燃焼振動の予兆を検知すれば、その周波数帯に応じて燃焼器バイパス弁を調整して燃焼器に送られる空気流量を増減するガスタービン制御装置。

【0341】(項7)

(項5)の不完全微分処理結果のレベル比較に加え、差分による時間変化率が複数に分割した周波数帯の設定レベルを設定時間以上連続して超え、かつ不完全微分処理結果が単独レベル比較よりも低い設定値の設定レベルを設定時間以上連続して超えた場合に兆候検知と判定する。周波数帯毎に燃焼器に送る空気流量を増減する方向及び量を事前に決定しておく。燃焼が不安定になり燃焼振動の予兆を検知すれば、その周波数帯に応じて燃焼器バイパス弁を調整して燃焼器に送られる空気流量を増減するガスタービン制御装置。

【0342】(項8)

(項6)の不完全微分処理結果のレベル比較に加え、差分による時間変化率が複数に分割した周波数帯の設定レベルを設定時間以上連続して超え、かつ不完全微分処理結果が単独レベル比較よりも低い設定値の設定レベルを設定時間以上連続して超えた場合に兆候検知と判定する。周波数帯毎に燃焼器に送る空気流量を増減する方向及び量を事前に決定しておく。燃焼が不安定になり燃焼振動の予兆を検知すれば、その周波数帯に応じて燃焼器バイパス弁を調整して燃焼器に送られる空気流量を増減するガスタービン制御装置。

【0343】(項9)計測した圧力変動や加速度から局所高速フーリエ変換(LFFT)に基づく周波数分析によりスペクトルを求め、各周波数毎のスペクトルの時間変動に対して不完全微分処理を行った結果が複数に分割した周波数帯の設定レベルを設定時間以上連続して超えた場合に予兆検知と判定する。周波数帯毎に燃焼器に送る空気流量を増減する方向及び量を事前に決定しておく。燃焼が不安定になり燃焼振動の予兆を検知すれば、その周波数帯に応じて入口案内翼を開閉して圧縮機への吸気量を調整して燃焼器に送られる空気流量を増減するガスタービン制御装置。

【0344】(項10)計測した圧力変動や加速度から高速フーリエ変換(FFT)に基づく周波数分析により求めたスペクトルが複数に分割した周波数帯の設定レベルを設定時間以上連続して超えた場合と、(項9)の検知結果との論理和を求める燃焼振動予兆検知と判定する。周波数帯毎に燃焼器に送る空気流量を増減する方向及び量を事前に決定しておく。燃焼が不安定になり燃焼振動の予兆を検知すれば、その周波数帯に応じて入口案内

内翼を開閉して圧縮機への吸気量を調整して燃焼器に送られる空気流量を増減するガスタービン制御装置。

【0345】(項11)

(項9)の不完全微分処理結果のレベル比較に加え、差分による時間変化率が複数に分割した周波数帯の設定レベルを設定時間以上連続して超え、かつ不完全微分処理結果が単独レベル比較よりも低い設定値の設定レベルを設定時間以上連続して超えた場合に兆候検知と判定する。周波数帯毎に燃焼器に送る空気流量を増減する方向及び量を事前に決定しておく。燃焼が不安定になり燃焼振動の予兆を検知すれば、その周波数帯に応じて入口案内翼を開閉して圧縮機への吸気量を調整して燃焼器に送られる空気流量を増減するガスタービン制御装置。

【0346】(項12)

(項10)の不完全微分処理結果のレベル比較に加え、差分による時間変化率が複数に分割した周波数帯の設定レベルを設定時間以上連続して超え、かつ不完全微分処理結果が単独レベル比較よりも低い設定値の設定レベルを設定時間以上連続して超えた場合に兆候検知と判定する。周波数帯毎に燃焼器に送る空気流量を増減する方向及び量を事前に決定しておく。燃焼が不安定になり燃焼振動の予兆を検知すれば、その周波数帯に応じて入口案内翼を開閉して圧縮機への吸気量を調整して燃焼器に送られる空気流量を増減するガスタービン制御装置。

【0347】(項13) New&Clean時の周波数解析結果を少なくとも2つの周波数帯に分割し、空気流量、メイン燃料流量、パイロット燃料流量それぞれの増減時の振動特性をデータベース化して内部に保存しておく。計測した圧力変動や加速度から局所高速フーリエ変換(LFFT)に基づく周波数分析によりスペクトルを求め、各周波数毎のスペクトルの時間変動に対して不完全微分処理を行った結果が複数に分割した周波数帯の設定レベルを設定時間以上連続して超えた場合に予兆検知と判定する。通常運転中に燃焼振動の予兆を検知すれば、周波数帯毎にデータベースと比較して最も類似した振動レベルとなる空気流量、メインとパイロットの燃料流量を求め、これらと入口案内翼開度、燃料流量制御弁開度等のプラント状態情報から求められる空気流量、燃料流量との差を評価して不安定燃焼の原因を求め安定化するための補正量を決定するガスタービン制御装置。

【0348】(項14) New&Clean時の周波数解析結果を少なくとも2つの周波数帯に分割し、空気流量、メイン燃料流量、パイロット燃料流量それぞれの増減時の振動特性をデータベース化して内部に保存しておく。計測した圧力変動や加速度から高速フーリエ変換(FFT)に基づく周波数分析により求めたスペクトルが複数に分割した周波数帯の設定レベルを設定時間以上連続して超えた場合と、(項13)の検知結果との論理和を求める燃焼振動予兆検知と判定する。通常運転中に燃焼振動の予兆を検知すれば、周波数帯毎にデータベー

スと比較して最も類似した振動レベルとなる空気流量、メインとパイロットの燃料流量を求め、これらと入口案内翼開度、燃料流量制御弁開度等のプラント状態情報から求められる空気流量、燃料流量との差を評価して不安定燃焼の原因を求め安定化するための補正量を決定するガスタービン制御装置。

【0349】(項15) New&Clean時の周波数解析結果を少なくとも2つの周波数帯に分割し、空気流量、メイン燃料流量、パイロット燃料流量それぞれの増減時の振動特性をデータベース化して内部に保存しておく。(項13)の不完全微分処理結果のレベル比較に加え、差分による時間変化率が複数に分割した周波数帯の設定レベルを設定時間以上連続して超え、かつ不完全微分処理結果が単独レベル比較よりも低い設定値の設定レベルを設定時間以上連続して超えた場合に兆候検知と判定する。通常運転中に燃焼振動の予兆を検知すれば、周波数帯毎にデータベースと比較して最も類似した振動レベルとなる空気流量、メインとパイロットの燃料流量を求め、これらと入口案内翼開度、燃料流量制御弁開度等のプラント状態情報から求められる空気流量、燃料流量との差を評価して不安定燃焼の原因を求め安定化するための補正量を決定するガスタービン制御装置。

【0350】(項16) New&Clean時の周波数解析結果を少なくとも2つの周波数帯に分割し、空気流量、メイン燃料流量、パイロット燃料流量それぞれの増減時の振動特性をデータベース化して内部に保存しておく。(項14)の不完全微分処理結果のレベル比較に加え、差分による時間変化率が複数に分割した周波数帯の設定レベルを設定時間以上連続して超え、かつ不完全微分処理結果が単独レベル比較よりも低い設定値の設定レベルを設定時間以上連続して超えた場合に兆候検知と判定する。通常運転中に燃焼振動の予兆を検知すれば、周波数帯毎にデータベースと比較して最も類似した振動レベルとなる空気流量、メインとパイロットの燃料流量を求め、これらと入口案内翼開度、燃料流量制御弁開度等のプラント状態情報から求められる空気流量、燃料流量との差を評価して不安定燃焼の原因を求め安定化するための補正量を決定するガスタービン制御装置。

【0351】(項17) 計測した圧力変動や加速度から局所高速フーリエ変換(LFFT)に基づく周波数分析によりスペクトルを求め、各周波数毎のスペクトルの時間変動に対して不完全微分処理を行った結果が複数に分割した周波数帯の複数に分割した周波数帯の設定レベルを設定時間以上連続して超えた場合に予兆検知と判定する。周波数帯毎に燃焼器バイパス弁開度やパイロット燃料流量調整弁開度を増減させて、この時の圧力変動や加速度の周波数解析を行い、基準制御系設定からの最適な補正量を求めておく。燃焼が不安定になり燃焼振動の予兆を検知すれば、その周波数帯に応じて基準制御系設定からの最適な補正量を増減するガスタービン制御装置。

【0352】(項18)計測した圧力変動や加速度から高速フーリエ変換(FFT)に基づく周波数分析により求めたスペクトルが複数に分割した周波数帯の設定レベルを設定時間以上連続して超えた場合と、(項17)の検知結果との論理和を求める燃焼振動予兆検知と判定する。周波数帯毎に燃焼器バイパス弁開度やパイロット燃料流量調整弁開度を増減させて、この時の圧力変動や加速度の周波数解析を行い、基準制御系設定からの最適な補正量を求めておく。燃焼が不安定になり燃焼振動の予兆を検知すれば、その周波数帯に応じて基準制御系設定からの最適な補正量を増減するガスタービン制御装置。

【0353】(項19)

(項17)の不完全微分処理結果のレベル比較に加え、差分による時間変化率が複数に分割した周波数帯の設定レベルを設定時間以上連続して超え、かつ不完全微分処理結果が単独レベル比較よりも低い設定値の設定レベルを設定時間以上連続して超えた場合に兆候検知と判定する。周波数帯毎に燃焼器バイパス弁開度やパイロット燃料流量調整弁開度を増減させて、この時の圧力変動や加速度の周波数解析を行い、基準制御系設定からの最適な補正量を求めておく。燃焼が不安定になり燃焼振動の予兆を検知すれば、その周波数帯に応じて基準制御系設定からの最適な補正量を増減するガスタービン制御装置。

【0354】(項20)

(項18)の不完全微分処理結果のレベル比較に加え、差分による時間変化率が複数に分割した周波数帯の設定レベルを設定時間以上連続して超え、かつ不完全微分処理結果が単独レベル比較よりも低い設定値の設定レベルを設定時間以上連続して超えた場合に兆候検知と判定する。周波数帯毎に燃焼器バイパス弁開度やパイロット燃料流量調整弁開度を増減させて、この時の圧力変動や加速度の周波数解析を行い、基準制御系設定からの最適な補正量を求めておく。燃焼が不安定になり燃焼振動の予兆を検知すれば、その周波数帯に応じて基準制御系設定からの最適な補正量を増減するガスタービン制御装置。

【0355】(項21)燃焼器に付けられた圧力変動検出器やケーシングに付けられた加速度検出器など、燃焼器内部の燃焼安定性評価に使用可能な検出器からの計測信号に基づいて、ウィンドウサイズが小さく感度が高い局所高速フーリエ変換(LFFT)に基づく周波数分析によりスペクトルを求め、各周波数毎のスペクトルの時間変動に対して不完全微分処理を行った結果が設定レベルを設定時間以上連続して超えたことで燃焼振動の予兆を検知し、操作量の周波数毎に予め設定した操作方向と量を決定することにより、燃焼振動を事前に検知して回避することにより常時安定燃焼を維持する。

【0356】項1～4によれば、パイロット燃料流量を調整することにより、燃焼振動の予兆を早期に検知しメイン燃焼火炎の燃焼安定性を維持することができる。項5～8によれば、燃焼器バイパス空気量を調整すること

により、燃焼振動の予兆を早期に検知し、計画NOx量以下で燃焼安定性を維持することができる。項9～12によれば、吸気流量を調整することにより、燃焼振動の予兆を早期に検知し、計画通りの燃焼状態を保ち燃焼安定性を維持することができる。項13～16によれば、データベースを利用することにより、圧縮機、タービン側で種々の経年変化が発生しても燃焼振動の予兆を早期に検知し、燃焼安定性を維持することができる。項17～21によれば、最適な操作量を自動的に探索することにより、如何なる経年変化が発生しても燃焼振動の予兆を早期に検知し、燃焼安定性を維持することができる。

【0357】

【発明の効果】本発明により、ガスタービンで発生する燃焼振動を事前に抑制し、燃焼安定性を向上して、ガスタービン運転の信頼性及びコスト削減を行なうことが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明であるガスタービン制御装置図及びガスタービンシステムの第1の実施の形態を示す構成図である。

【図2】(a)は、本発明であるガスタービン制御装置図及びガスタービンシステムの実施の形態における補正量決定に関わる表であり、(b)は、その他の表である。

【図3】本発明であるガスタービン制御装置図及びガスタービンシステムの実施の形態における補正量決定に関わる更に他の表である。

【図4】本発明であるガスタービン制御装置図及びガスタービンシステムの第2の実施の形態を示す構成図である。

【図5】本発明であるガスタービン制御装置図及びガスタービンシステムの第3の実施の形態を示す構成図である。

【図6】本発明であるガスタービン制御装置図及びガスタービンシステムの第4の実施の形態を示す構成図である。

【図7】本発明であるガスタービン制御装置図及びガスタービンシステムの第5の実施の形態を示す構成図である。

【図8】本発明であるガスタービン制御装置図及びガスタービンシステムの実施の形態における試行点の例を示すグラフである。

【図9】本発明であるガスタービン制御装置図及びガスタービンシステムの実施の形態における最適運転点の決定に関わるグラフである。

【図10】本発明であるガスタービン遠隔監視システムの実施の形態を示す構成図である。

【図11】本発明であるガスタービン制御装置図及びガスタービンシステムの実施の形態に関わるガスタービンを示す構成図である。

【図12】本発明であるガスタービン制御装置図及びガスタービンシステムの実施の形態のフローを示す図である。

【図13】本発明であるガスタービン制御装置図及びガスタービンシステムの実施の形態に関する補正値を計算する関数の変化の例を示すグラフである。

【図14】本発明であるガスタービン制御装置図及びガスタービンシステムの実施の形態における周波数解析の結果の例を示すグラフである。

【図15】本発明であるガスタービン制御装置図及びガスタービンシステムの実施の形態における新規のガスタービンにおける周波数と制御量と振動強度との関係を例示する表である。

【図16】本発明であるガスタービン制御装置図及びガスタービンシステムの実施の形態の他のフローを示す図である。

【図17】本発明であるガスタービン制御装置図及びガスタービンシステムの実施の形態における周波数解析部及び異常周波数帯検知部の一例を示す構成図である。

【図18】本発明であるガスタービン制御装置図及びガスタービンシステムの実施の形態における周波数解析部及び異常周波数帯検知部の他の例を示す構成図である。

【図19】本発明であるガスタービン制御装置図及びガスタービンシステムの実施の形態における周波数解析部及び異常周波数帯検知部の更に他の例を示す構成図である。

【図20】本発明であるガスタービン制御装置図及びガスタービンシステムの実施の形態における周波数解析部及び異常周波数帯検知部の更に他の例を示す構成図である。

【図21】本発明であるガスタービン制御装置図及びガスタービンシステムの実施の形態における周波数解析部及び異常周波数帯検知部の更に他の例を示す構成図である。

【図22】本発明であるガスタービン制御装置図及びガスタービンシステムの実施の形態における周波数解析部及び異常周波数帯検知部の更に他の例を示す構成図である。

【図23】本発明であるガスタービン制御装置図及びガスタービンシステムの実施の形態における周波数解析部及び異常周波数帯検知部の更に他の例を示す構成図である。

【図24】本発明であるガスタービン制御装置図及びガスタービンシステムの実施の形態における周波数解析部及び異常周波数帯検知部の更に他の例を示す構成図である。

【図25】本発明であるガスタービン制御装置図及びガスタービンシステムの実施の形態における予兆解析部にて用いられるLFFT手法の特徴を示す図である。

【図26】本発明であるガスタービン制御装置図及びガ

スタービンシステムの実施の形態における予兆解析部にて用いられるLFFT手法の特徴を示す他の図である。

【図27】本発明であるガスタービン制御装置図及びガスタービンシステムの実施の形態における予兆解析部にて用いられるLFFT手法との対比でFFT手法にて周波数解析を行った結果の一例を示す図である。

【図28】本発明であるガスタービン制御装置図及びガスタービンシステムの実施の形態における予兆解析部にて用いられるLFFT手法にて周波数解析を行った結果の一例を示す図である。

【図29】本発明であるガスタービン制御装置図及びガスタービンシステムの実施の形態における予兆解析部にて行う予兆検知を説明するための図である。

【図30】本発明であるガスタービン制御装置図及びガスタービンシステムの実施の形態における予兆解析部にて用いられるLFFT手法との対比でFFT手法にて周波数解析を行った結果の一例を示す図である。

【図31】本発明であるガスタービン制御装置図及びガスタービンシステムの実施の形態における予兆解析部にて用いられるLFFT手法にて周波数解析を行った結果の一例を示す図である。

【図32】本発明であるガスタービン制御装置図及びガスタービンシステムの実施の形態における予兆解析部にて用いられるLFFT手法にて周波数解析を行った結果に対して処理を行った後の一例を示す図である。

【図33】本発明であるガスタービン制御装置図及びガスタービンシステムの実施の形態における予兆解析部の更に他の例を示す図である。

【図34】本発明であるガスタービン制御装置図及びガスタービンシステムの実施の形態における予兆解析部の更に他の例を説明するためのタイミングチャートである。

【図35】本発明であるガスタービン制御装置図及びガスタービンシステムの実施の形態における予兆解析部の更に他の例を説明するための他のタイミングチャートである。

【図36】本発明であるガスタービン制御装置図及びガスタービンシステムの実施の形態における予兆解析部の更に他の例を説明するための更に他のタイミングチャートである。

【符号の説明】

- 1 ガスタービンシステム
- 2 ガスタービン
- 3 ガスタービン制御装置
- 4 プロセス量計測部
- 5 メイン燃料流量調整部
- 6 パイロット燃料流量調整部
- 7 バイパス空気流量調整部
- 8 入口案内翼調整部
- 9 圧力変動測定部

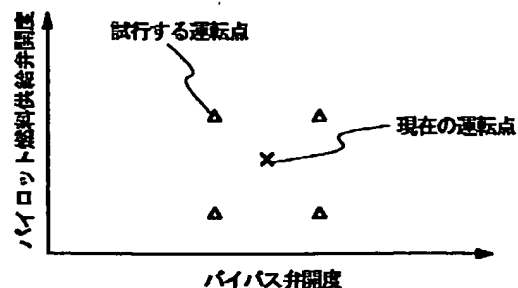
10 加速度測定部
 21 LFFT演算器
 22 一次遅れ器
 23 加算器
 24 移動平均処理部
 24a 移動平均処理部
 24b 移動平均処理部
 25 設定値比較部
 26 オンディレイ処理部
 26a オンディレイ処理部
 26b オンディレイ処理部
 27 設定値比較部
 28 差分処理部
 29 設定値比較部
 41 レベル比較処理(高設定)部
 42 レベル比較処理(低設定)部
 43 変化率比較処理部
 71 誤差比較処理部
 72 誤差比較処理部
 73 誤差比較処理部
 74 誤差比較処理部
 100 ガスタービン本体部
 101 圧縮機
 102 入口案内翼
 103 回転軸
 104 タービン
 110 燃焼部
 111(-1~m) 燃焼器
 112 圧縮空気導入部
 113 メイン燃料流量制御弁
 114 パイロット燃料流量制御弁
 115(-1~m) メイン燃料供給弁
 116(-1~m) パイロット燃料供給弁
 117(-1~m) バイパス空気導入管
 118(-1~m) バイパス弁
 119(-1~m) バイパス空気混合管
 120(-1~m) 燃焼ガス導入管
 121 発電機

211 制御部
 212 周波数解析部
 212a 周波数解析部
 212b 周波数解析部
 212c 周波数解析部
 212d 周波数解析部
 212e 周波数解析部
 212f 周波数解析部
 212g 周波数解析部
 10 212h 周波数解析部
 215 データベース
 216 試行点決定部
 217 通信部
 218 通信部
 221 パイロット燃料補正部
 222 補正量決定部
 223 加算部
 224 バイパス空気補正部
 225 補正量決定部
 20 226 加算部
 227 入口案内翼補正部
 228 補正量決定部
 229 加算部
 230 全補正部
 231 補正量決定部
 232 加算部
 233 全補正部
 234 全補正部
 235 データベース
 30 250 異常周波数帯検知部
 250a 異常周波数帯検知部
 250b 異常周波数帯検知部
 250c 異常周波数帯検知部
 250d 異常周波数帯検知部
 250e 異常周波数帯検知部
 250f 異常周波数帯検知部
 250g 異常周波数帯検知部
 250h 異常周波数帯検知部

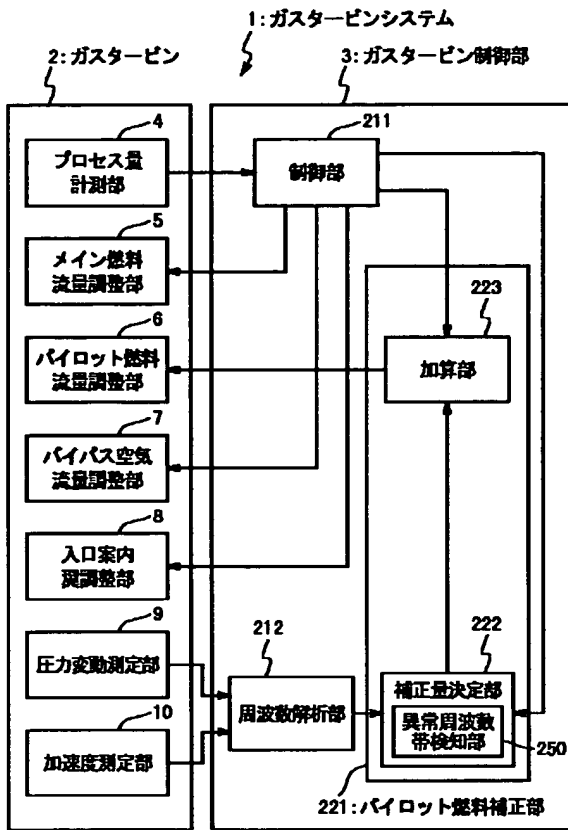
【図3】

周波数帯	しきい値	補正量
周波数帯 1	α_{11}	$f_{11}(\text{周波数}, \text{大気温度}, \text{湿度}, \dots)$
	α_{12}	$f_{12}(\text{周波数}, \text{大気温度}, \text{湿度}, \dots)$
周波数帯 2	α_{21}	$f_{21}(\text{周波数}, \text{大気温度}, \text{湿度}, \dots)$
	α_{22}	$f_{22}(\text{周波数}, \text{大気温度}, \text{湿度}, \dots)$
⋮	⋮	⋮
周波数帯 n	α_{n1}	$f_{n1}(\text{周波数}, \text{大気温度}, \text{湿度}, \dots)$
	α_{n2}	$f_{n2}(\text{周波数}, \text{大気温度}, \text{湿度}, \dots)$

【図8】



【図1】



【図2】

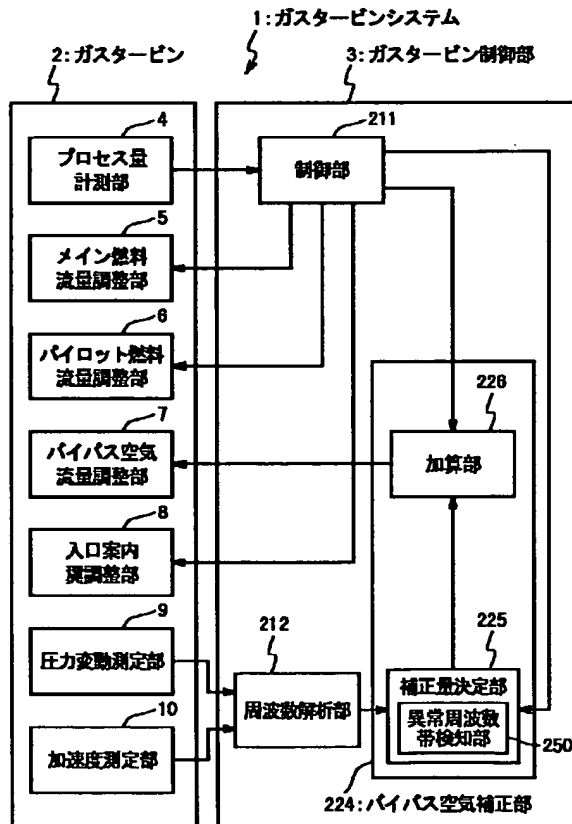
(a)

周波数帯	しきい値	補正量
周波数帯 1	α_1	f_1 (rpm, 大気温度, 湿度, ...)
周波数帯 2	α_2	f_2 (rpm, 大気温度, 湿度, ...)
...
周波数帯 n	α_n	f_n (rpm, 大気温度, 湿度, ...)

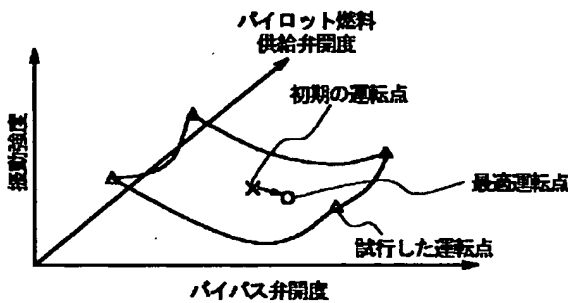
(b)

周波数帯	しきい値	補正量
周波数帯 1	α_1 OR (α_{101} AND α_{201})	f_1 (rpm, 大気温度, 湿度, ...)
周波数帯 2	α_2 OR (α_{102} AND α_{202})	f_2 (rpm, 大気温度, 湿度, ...)
...
周波数帯 n	α_n OR (α_{10n} AND α_{20n})	f_n (rpm, 大気温度, 湿度, ...)

【図4】



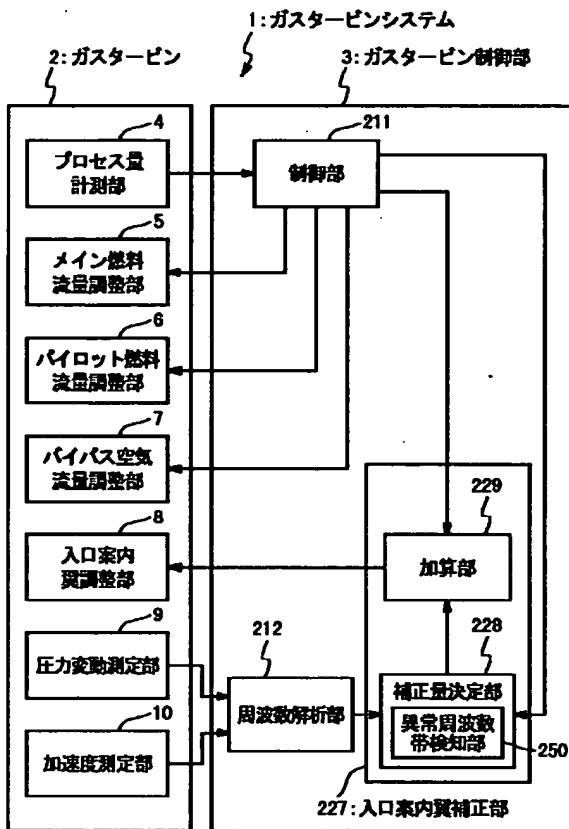
【図9】



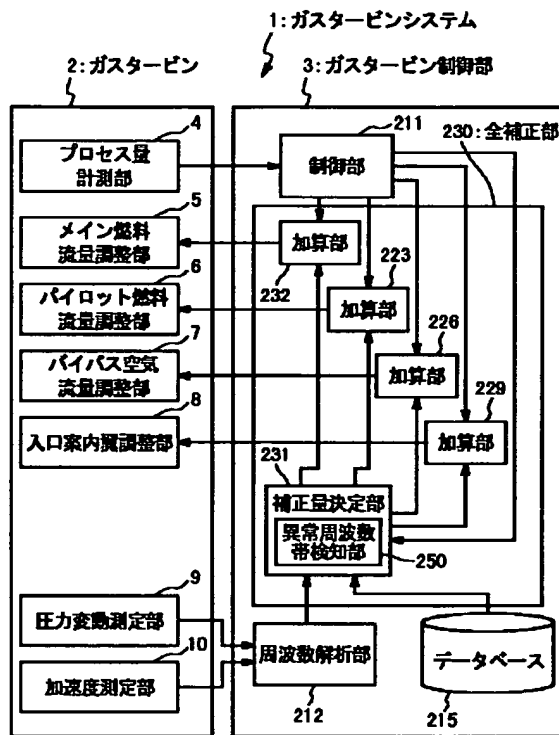
【図15】

	制御量 X			
	流量帯 a_1	流量帯 a_2	...	流量帯 a_L
周波数帯 1	振動強度 A_{11}	振動強度 A_{12}	...	振動強度 A_{1L}
周波数帯 2	振動強度 A_{21}	振動強度 A_{22}	...	振動強度 A_{2L}
...
周波数帯 n	振動強度 A_{n1}	振動強度 A_{n2}	...	振動強度 A_{nL}

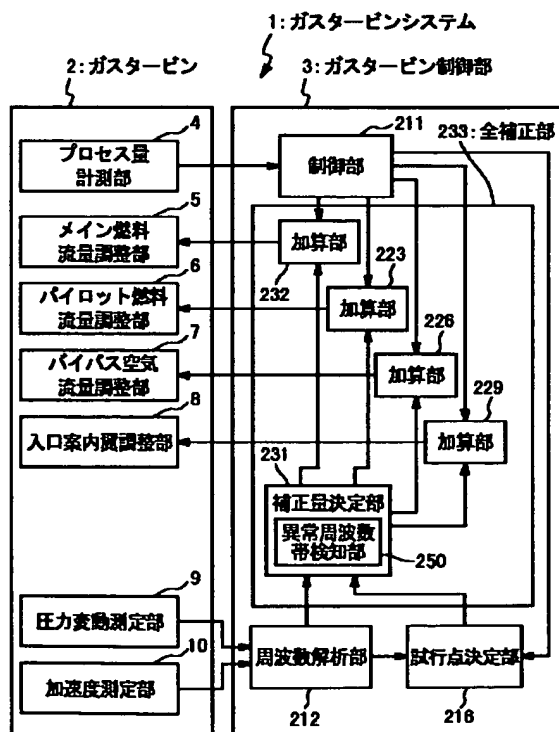
【図5】



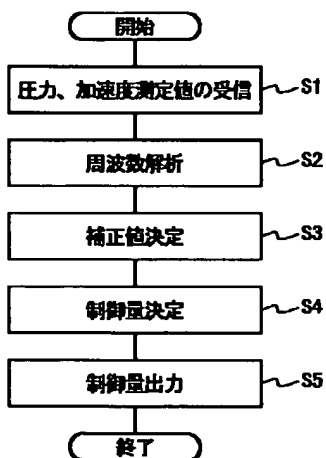
【図6】



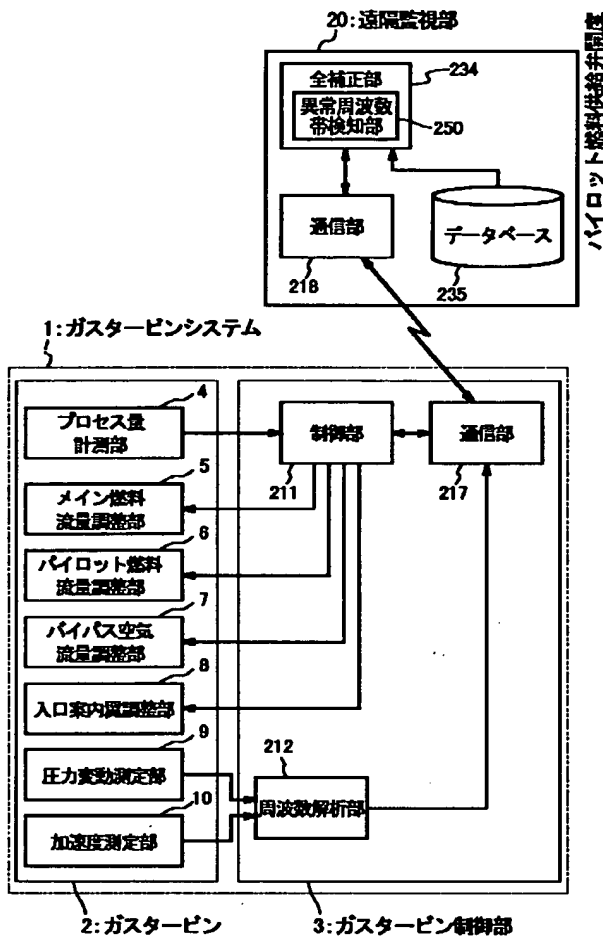
【図7】



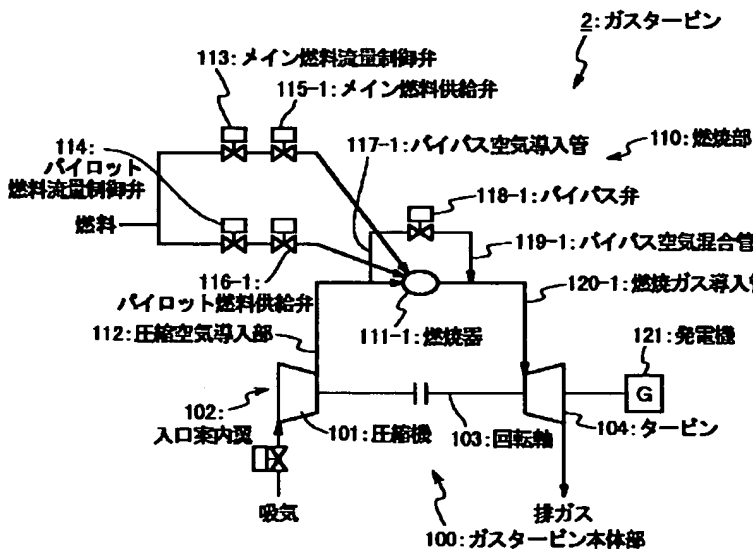
【図12】



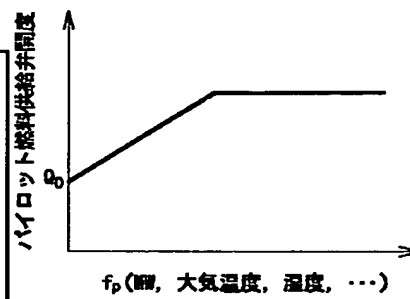
【図10】



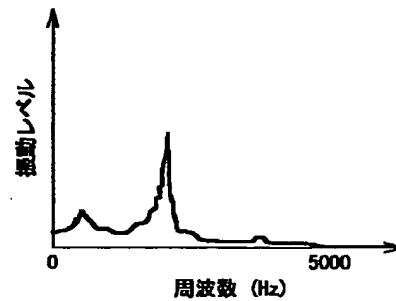
【図11】



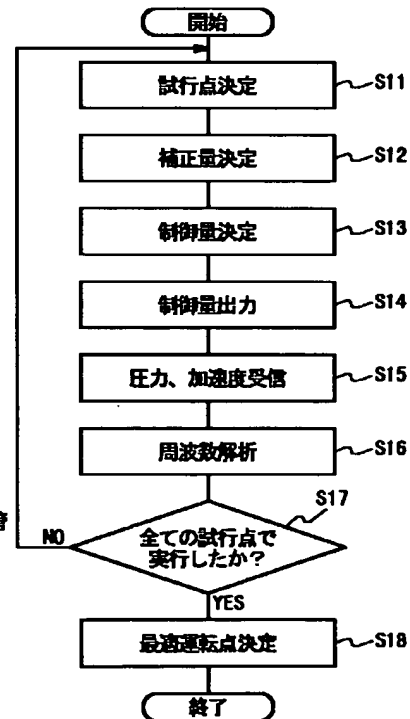
【図13】



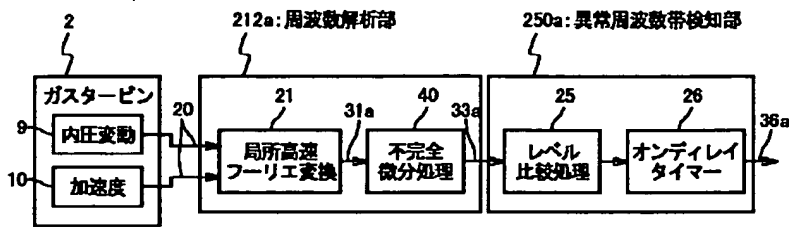
【図14】



【図16】

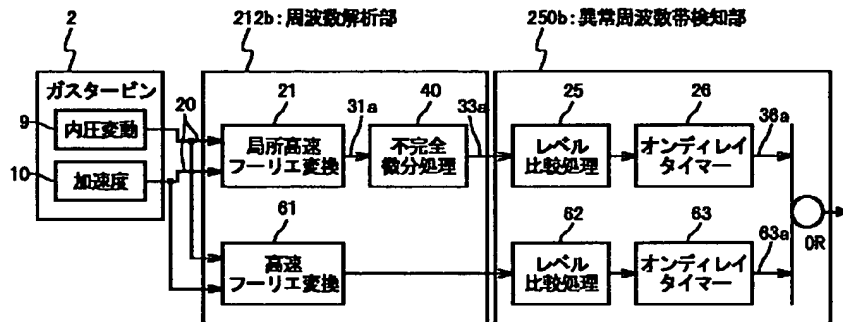


【図17】



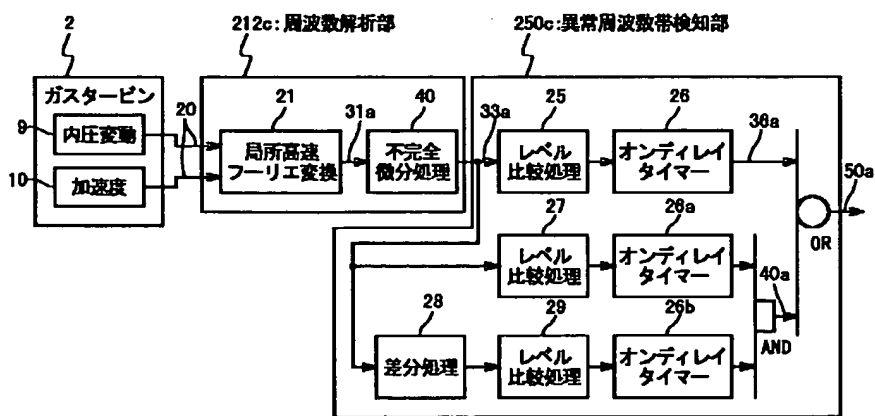
実施例1の説明図

【図18】



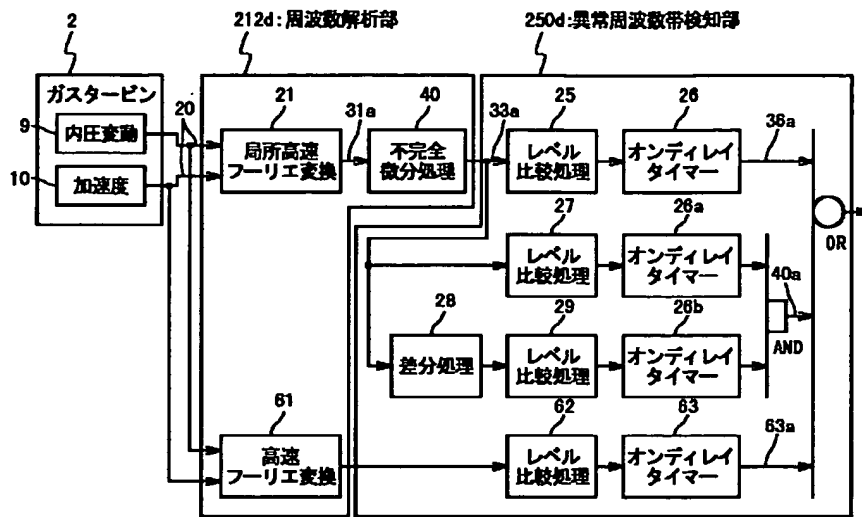
実施例2の説明図

【図19】



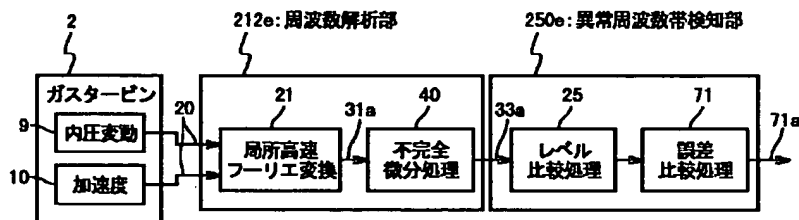
実施例3の説明図

【図20】



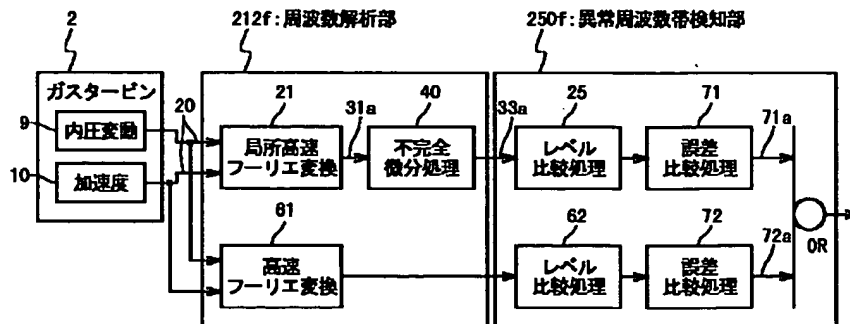
実施例4の説明図

【図21】



実施例5の説明図

【図22】



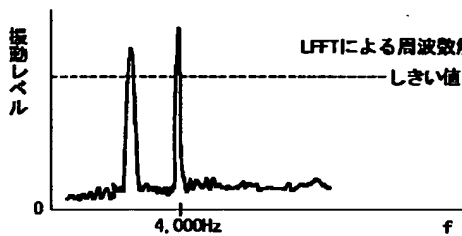
実施例6の説明図

【図25】

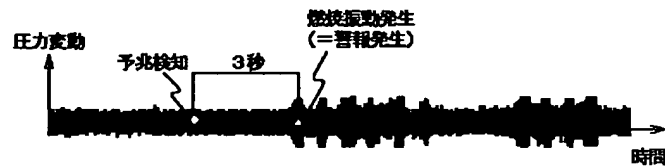
LFFT手法の特徴と対応策

	LFFT	FFT	対応策
ウィンドウサイズ	小さい: 128点	大きい: 1024点	—
感度	高い (利点) 説明: 局所的に現れる振動を顕著なピークとしてキャッチできる	低い 説明: 局所的に現れる振動は平均化されてキャッチできない	LFFTの感度の高さを活かして予兆を検知する
周波数分解能	粗い (欠点) 説明: 燃焼成分と燃料振動の周波数が重なる場合があり、予め除去できない	細かい 説明: 燃焼成分と燃料振動の周波数は分離できるため、予め除去できる	定常ノイズ除去処理により燃焼成分と燃料振動を分類する
演算処理	速い (利点) 説明: FFT演算に要する時間が少なくリアルタイム処理向きである	遅い 説明: FFT演算に要する時間がLFFTよりも大きい	短時間の対象区間毎に高速な診断が可能

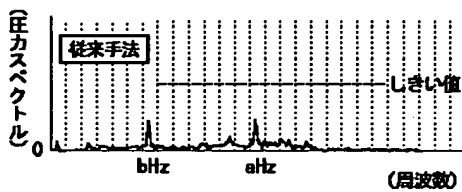
【図28】



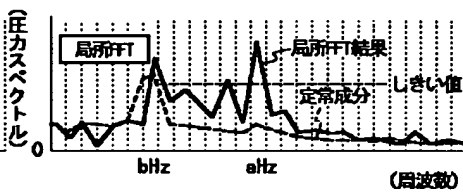
【図29】



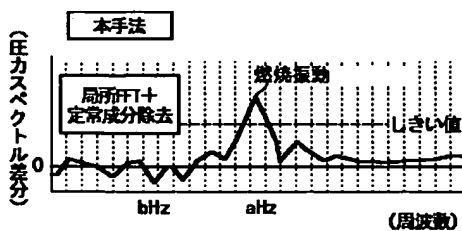
【図30】



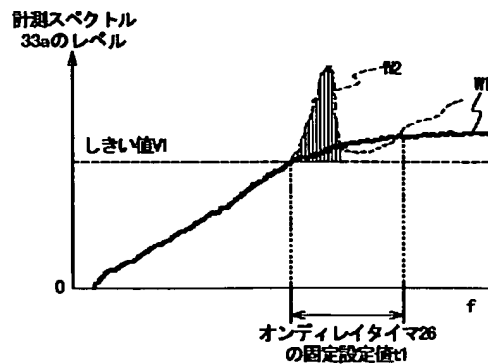
【図31】



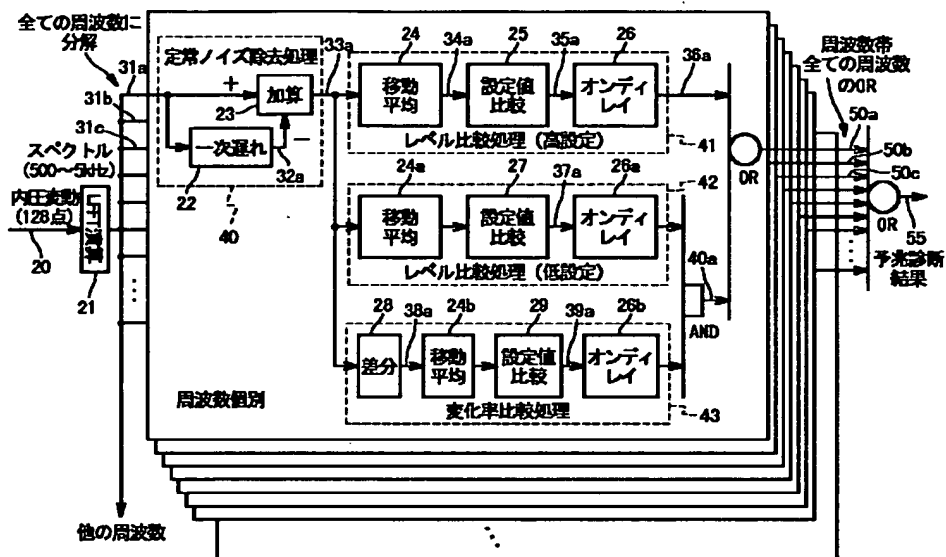
【図32】



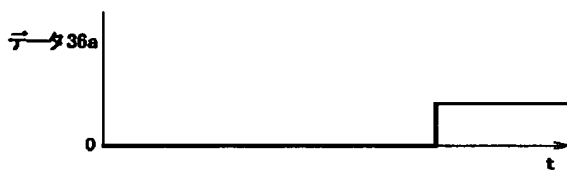
【図34】



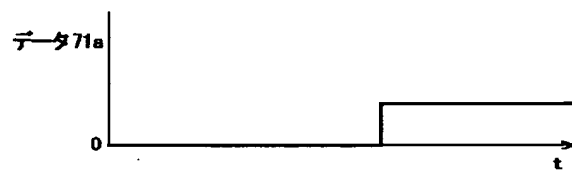
【図33】



【図35】



【図36】



フロントページの続き

(72)発明者 田中 克則
兵庫県高砂市荒井町新浜2丁目1番1号
三菱重工業株式会社高砂製作所内

(72)発明者 外山 浩三
兵庫県高砂市荒井町新浜2丁目1番1号
三菱重工業株式会社高砂製作所内

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ BLACK BORDERS
- ☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.